



HELSINGIN YLIOPISTO
MAATALOUS-METSÄTIEEELLINEN TIEDEKUNTA

Rahkasammalen keruun ilmastovaikutukset

Eetu Punkka
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Metsätieteiden maisteriohjelma
Metsien ekologia ja käyttö
Joulukuu 2019

Tiedekunta/Fakultet – Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos/Institution – Department Metsätieteiden osasto, metsätieteiden maisteriohjelma	
Tekijä/Författare – Author Eetu Punkka			
Työn nimi/Arbetets titel – Title Rahkasammalen keruun ilmastovaikutukset			
Oppiaine/Läroämne – Subject Metsien ekologia ja käyttö			
Työn laji/Arbetets art – Level Maisterintutkielma	Aika/Datum – Month and year Joulukuu 2019	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 44	
<p>Tiivistelmä/Referat – Abstract</p> <p>Kasvualustojen tuottajat ovat kiinnostuneita uusista, ilmaston kannalta paremmista vaihtoehtoista turpeen elinkaaren ongelmallisuuden ja epäselvän aseman vuoksi. Rahkasammal on ominaisuuksiltaan hyvä kasvualustatuotantoa varten sekä tuottavuutensa ansiosta potentiaalinen vaihtoehto turpeen keruulle. Rahkasammalta onkin jo muutaman vuoden ajan kerätty tätä käyttötarkoitusta varten. Uuden luonnonvaran hyödyntämiseen liittyy paljon selvitettäviä asioita kestävän käytön huomioimiseksi, kuten ilmastovaikutukset. Kasvihuonekaasuista hiilidioksidilla ja metaanilla on merkitystä ombrotrofisten soiden ilmastopäästöihin. Typpioksiduulia ei tässä kohtaa tarkastella. Hiilidioksidin osalta merkityksellistä on tutkia poistuvan aineksen hiilivarastoja ja metaanin osalta puolestaan kasvillisuuden peittävyden palautumista ja kasvilajisuhteita.</p> <p>Tässä pro gradu -työssä haluttiin kartoittaa havaintoja rahkasammalen keruun ilmastovaikutuksista mahdollisia jatkotutkimuksia varten. Keruun ilmastovaikutuksia vertailtiin käsittelemättömiin referenssialueisiin ja sen lisäksi suotyyppien välisiä päästöeroja tutkittiin alustavasti. Rahkasammalen keruun ilmastovaikutuksia verrattiin myös kasvuturpeen vastaaviin lukemiin. Hiilidioksidia tutkittiin kairattujen turvenäytteiden hiilipitoisuuksien avulla. Laskelmissa huomioitiin myös keruun seurauksena kertymättä jääneen turpeen ilmastovaikutus. Metaanin päästöjä tarkasteltiin kasvillisuusruuduista saadun peittävyden palautumis- sekä kasvilajisuhdeaineiston perusteella. Rahkasammalen keruualueilta kerättiin myös yleistietoa keruualueelle tyypillisistä piirteistä, kuten keruujäljestä, puustosta ja ojien kunnosta. Kenttätöitä tehtiin kesällä 2019 Kihniön seudulla 12 suolla.</p> <p>Yleisilmeeltään keruualueiden kasvillisuutta leimasi voimakas tupasvillan pioneerilajivaikutus. Uusimmat keruualueet olivat vielä lähes kasvittomia, mutta tutkimushetkellä kolme kasvukautta toipuneet keruualueet olivat jo alkaneet selvästi palautua kasvillisuuden osalta. Kymmenessä vuodessa kasvillisuus oli palautunut täysin. Suhteellisesti tupasvillan osuus oli vanhimmillakin aloilla selvästi vertailualueita suurempi, ja keruualueiden palautunut kasvillisuus oli biodiversiteetiltään vertailualoja köyhempi. Tupasvillan esiintyminen näyttäisi kuitenkin edistävän myös rahkasammalen leviämistä. Lisäksi keruujäljellä näyttäisi olevan merkitystä ennen kaikkea rahkasammalen palautumiseen. Tasapinta edistää palautumista samoin keräämättä jääneet alueet keruualueiden sisällä.</p> <p>Kasvihuonekaasulaskelmien perusteella rahkasammalen keruualueen päästö oli 10,26 kg/m² CO₂ 13 vuodessa. Vertailtaessa eri suotyyppien välisiä eroja huomattiin, että keruu on ilmaston kannalta suotuisampaa lyhytkortisuutta ilmentäviltä soilta kuin rahkasammalvaltaisilta. Rahkasammalen keruu osoittautui selvästi kasvuturpeen keruuta paremmaksi vaihtoehdoksi ilmastonäkökulmasta, kun päästöt jaettiin tuotetuilla kasvialustojen kuivamassoilla. Ilmastopäästöistä suurimman osuuden kokonaispäästöistä muodostaa konkreettinen suolta poistettava kasvialustamassa. Kasvillisuuden merkitys turvetuotantokentällä ja rahkasammalen keruualueella on kokonaistuloksessa vähemmän merkittävä. Tässä tutkimuksessa kartoitettiin rahkasammalen keruun ilmastovaikutuksia alustavasti, sillä aihetta ei ole aiemmin Suomen olosuhteissa tutkittu. Lisää tutkimusta tarvitaan laajemmalla otannalla ja pitemmän aikavälin seurannalla.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords rahkasammal, ilmastovaikutus, kasvihuonekaasupäästö, kasvialusta, turve			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet) ethesis.helsinki.fi			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information Ohjaajat: Paavo Ojanen (Helsingin yliopisto) & Janne Pitkänen (Biolan Oy)			

Tiedekunta/Fakultet – Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos/Institution– Department Department of Forest Sciences
Tekijä/Författare – Author Eetu Punkka		
Työn nimi/Arbetets titel – Title The climate effects of Sphagnum harvesting		
Oppiaine/Läroämne – Subject Forest ecology and management		
Työn laji/Arbetets art – Level Master's thesis	Aika/Datum – Month and year December 2019	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 44
<p>Tiivistelmä/Referat – Abstract</p> <p>Substrate producers are interested in new climate-friendly alternatives due to the problematic nature of the peat life cycle and the uncertain status. The Sphagnum moss has good properties for substrate production and, due to its productivity, is a potential alternative to peat harvesting. Indeed, the Sphagnum moss has been harvested for this purpose for several years. Exploitation of the new natural resource involves many issues to take care of in order to consider sustainable use. One of these is the impact on climate. Of the greenhouse gases, carbon dioxide and methane play a role in the climate emissions of ombrotrophic mires. Nitrous oxide is not considered here. In the case of carbon dioxide, it is important to study the carbon stocks of the decaying material and, in the case of methane, vegetation restoration and plant species relationships are considered carefully.</p> <p>The aim of this Master's thesis was to study observations on the climatic effects of Sphagnum harvesting for possible further research. Climate effects were compared with untreated reference areas and, in addition, the differences in emissions between peatland types were provisionally investigated. The climatic effects of Sphagnum harvesting were also compared with the corresponding figures of horticultural peat. Carbon dioxide was studied by the carbon content of drilled peat samples. The climate impact of the peat that wasn't formed as a result of the harvesting was also taken into account in the calculations. Methane emissions were examined on the basis of restoration of cover from vegetation analysis and plant species relationship data. The Sphagnum harvesting areas were also examined about general information of the harvesting area for example harvesting marks in the ground, tree stand and ditch conditions. Field work was carried out in summer 2019 in Kihniö area on 12 bogs.</p> <p>In general, the vegetation of the harvesting areas was characterized by a strong pioneer effect on <i>Eriophorum vaginatum</i>. The most recent harvesting areas were still nearly plant-free, but at the time of the study, the harvesting areas that had recovered three growing seasons had already begun to clearly recover in terms of vegetation. Within 10 years, the vegetation had completely recovered. In relative terms, the proportion of <i>Eriophorum vaginatum</i> in the oldest areas was clearly higher than in the reference areas and the regenerated vegetation in the harvesting areas was poorer than in the reference areas. However, the presence of <i>Eriophorum vaginatum</i> also seems to contribute to the spread of <i>Sphagnum sp.</i> In addition, the harvesting marks of the harvesting seems to be important above all for the recovery of <i>Sphagnum sp.</i> The flat surface facilitates recovery, but also the unharvested spots within the harvesting areas.</p> <p>Based on the greenhouse gas calculations, the emission of the Sphagnum harvesting area was 10.26 kg/m² CO₂ in 13 years. Comparing the differences between the different bog types, it was found that the harvesting is more climate friendly in Sphagnum-bogs than in cottongrass-bogs. The Sphagnum harvesting is clearly a better alternative to harvesting peat from a climate point of view, when emissions are distributed on the dry masses of the growing media produced. When reducing climate emissions, the major part of total emissions is generated by the specific decontaminated substrate. The importance of the vegetation is less significant in the overall result. In this study, the climate effects of the Sphagnum harvesting were tentatively mapped, as the topic has not been studied previously in Finnish conditions. More research is needed with wider sampling and long-term follow-up.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Sphagnum sp., climate, GHG-gas, seedbed, peat		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet) ethesis.helsinki.fi		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information Supervisors: Paavo Ojanen (University of Helsinki) & Janne Pitkänen (Biolan Oy)		

ALKUSANAT

Tämä pro gradu -tutkielma on toteutettu yhteistyössä Biolan Oy:n ja Helsingin yliopiston metsätieteiden osaston kanssa ja Biolan maksoi työstä palkkaa kesän kenttäosuuden ajalta. Työn valmistuttua on aika kiittää kaikkia niitä, jotka ovat edistäneet sen valmistumista. Haluan kiittää vastuuprofessori Harri Vasanderia sekä ohjaajiani Janne Pitkästä ja Paavo Ojasta opettavaisesta, määrätietoisesta ja kannustavasta asenteestaan sekä kaikesta tuesta tutkielman eri vaiheissa. Sen lisäksi kiitokset kajahtavat läntiseen Suomeen maastotyötuen ja muun alueellisen tietämyksen selvittämisestä Niko Silvanille ja Heikki Rantaselle.

Suuri kiitos myötäelämisestä ja arvokkaasta vertaistuesta kuuluu koko sosiaaliselle verkostolleni ympäri Suomen niemen ja erityisesti Suomenniemen. Tämä projekti opetti minulle paljon asiasisällön ja oman tutkimuksen hallinnan puitteissa, mutta arvokkaimpana oppina sain huomata keränneeni ympärilleni vahvan, viisaan ja avuliaan ihmisjoukon. Rahkasammalen herkistämistä tunnelmista kohti uusia seikkailuja.

Helsingissä joulukuussa 2019

Sisällysluettelo

KÄSITTEET	2
1 JOHDANTO	4
1.1 Taustateoria	5
1.1.1. Kasvihuonekaasut.....	5
1.1.2. Ekohydrologia ja soiden luokittelua.....	6
1.1.3. Turpeen kertyminen	7
1.1.4. Rahkasammalen keruu.....	8
1.2 Tutkimuskysymykset	10
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	11
2.1 Aineiston hankinta	11
2.1.1. Koealat ja alueen rajausta.....	11
2.1.2. Yleiskuvaus.....	12
2.1.3. Kasvillisuuden mittaaminen.....	13
2.1.4. Turvenäytteet.....	14
2.2 Aineiston analysointi.....	16
2.2.1. Metaani.....	16
2.2.2. Hiilidioksidi.....	18
2.2.3. Turvetuotantovertailu	21
3 TULOKSET	22
3.1 Yleisilme	22
3.2 Kasvillisuus ja sen palautuminen	24
3.3 Metaanin päästöt	25
3.4 Hiilidioksidin päästöt	27
3.5 Kaikki päästöt	28
4 TULOSTEN TARKASTELU	30
4.1 Ilmastovaikutus ja kasvillisuus	30
4.2 Tulosten luotettavuus	31
4.3 Päästöjen vertailu	32
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	34
KIRJALLISUUS	36
LIITTEET	40

KÄSITTEET

Akrotelma – suon turvekerroksen hapellinen pintakerros.

Ekohydrologia – veden määrän ja laadun ajallisen ja paikallisen vaihtelun seurauksena syntyvä hydrologian ja kasvillisuuden muodostama kokonaisuus.

GWP₁₀₀ – yksikkö tai kerroin, joka kertoo kunkin kasvihuonekaasun päästön ilmastoa lämmittävän vaikutuksen suhteessa hiilidioksidiin 100 vuoden ajalta.

Hiilidioksidiekvivalentti (CO₂-ekv.) – kasvihuonekaasut hiilidioksidiksi yhteismitallistava mittayksikkö, joka lasketaan IPCC:n määrittämillä GWP-arvoilla.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) – hallitustenvälinen ilmastonmuutos-paneeli, jonka tehtävänä on arvioida ihmisten aiheuttamaa ilmaston lämpenemistä.

Kasvihuonekaasu (KHK) – ilmaston lämpenemistä aiheuttava kaasu, jota on ilmakehässä sekä luontaisesti että ihmisen toimesta.

Kasvuturve – lannoitettu turveseos, joka on valmistettu viljelykäyttöön.

Karike – kuollut kasvien biomassa, kuten lehdet, juuret ja muut kasvinosat, painuu karikkeena maaperään eli kivennäismaahan ja turpeeseen.

Katotelma – suon turvekerroksen vähähappinen kerros akrotelman alla.

Kulju/välipinta/kermi – suon pintoja voidaan tarkentaa pienmuotojen avulla, joita ovat matalimmasta pinnasta korkeimpaan kulju eli painanne, välipinta tai tasapinta sekä kermi eli mätäs.

Minerotrofia – kertoo suon runsasravinteisuudesta, joka voidaan jakaa edelleen oligo-, meso- ja eutrofiaan. Suon tapauksessa vettä ja ravinteita saadaan sateen lisäksi pohja- ja pintaveden mukana. Saravaltainen.

Ombrotrofia – kertoo suon vähäravinteisuudesta. Suon ravinteet ja vesi tulevat ainoastaan sadannasta. Rahkasammalvaltainen.

Suo – ekosysteemi, jolle on luontaista turpeen muodostuminen ja kertyminen, lähellä maanpintaa oleva vedenpinnan taso sekä omaleimainen suokasvillisuus.

Turve – kasvien epätäydellisen hajoamisen seurauksena muodostunut eloperäinen maa-laji, joka on kerrostunut muodostumispaikalleen. Turve jaotellaan kolmeen pääryhmään: rahkaturve, saraturve ja puuvaltainen turve.

1 JOHDANTO

Suot ovat jääneet Suomen luonnonvarojen hyödyntämisessä metsien varjoon, vaikka soita onkin ojitettu maa- ja metsätalouden käyttöön. Virkistyskäytössä suot ovat sentään tarjonneet ihmisille elämyksiä ainakin marjojen keruun aikaan. Turvevaroja on osattu hyödyntää pidempään, mutta tutkimustiedon ja siitä seuranneiden ilmastokeskustelujen lisääntyessä on huomattu turpeen hidas kiertoaika negatiivisessa valossa. Viime aikoina ollaan kiinnostuttu yhä enemmän rahkasammalen (*Sphagnum sp.*) tarjoamista mahdollisuuksista. Soiden rahkasammal nähdään nyt metsien puun tavoin lyhyehkön kiertoajan luonnonvarana, jota kasvaa suoekosysteemeissä melko runsaasti.

Rahkasammal ei kelpaa minkään eläimen ravinnoksi ja ainoastaan kunttamato (*Cognettia sphagnetorum*) pystyy rajoittamaan rahkasammalen kasvua. Rahkasammal on ravinneköyhää ja hapanta ja näin ollen se on luonnonvarana jätetty pitkään huomiotta. Rahkasammalella on myös hyviä ominaisuuksia, kuten antiseptisyys ja nopea kasvu, joten alan toimijat ovat alkaneet kiinnostua rahkasammalen keruusta kasvuturpeen rinnalla (Päivänen 2007). Rahkasammalen keruun potentiaalia lisää se, että muuten hyödyntämättömät karut eli ombrotrofiset ojitetut suot ovat lupaavimpia kohteita keruulle. Rahkasammalen keruu voisi lisätä näiden ennestään hyödyntämättömien kohteiden merkittävyyttä ja esimerkiksi yksityiset metsänomistajat voisivat saada uusia tuloja joutomailtaan.

Ennen laajamittaisempaa keruuta on kuitenkin aiheellista pohtia toiminnan vaikutuksia ja tässä tutkimuksessa keskitytään keruun ilmastovaikutuksiin. Tutkimuksen tarkoituksena on kartoittaa rahkasammalen keruun ilmastovaikutuksia mahdollisesti seuraavia tarkempia tutkimuksia pohjustaen. Uuden luonnonvaran hyödyntämisestä tarvitaan lisää tietoa, jotta kestävyys näkökulmat voidaan ottaa huomioon.

1.1 Taustateoria

1.1.1. Kasvihuonekaasut

Suoekosysteemi vaikuttaa ympäristöön ja ilmastoon monitahoisesti ja Suomen suot ovat merkittävä hiilivarasto (Turunen ym. 2002). Suolta huuhtoutuva humuspitoinen vesi kuljettaa ravinteita ja suohon sitoutunutta hiiltä seuraaviin ekosysteemeihin ja suolla on myös albedon eli auringon säteilyn takaisinheijastumisen myötä vaikutusta ilmastoon (Minkkinen ym. 2013). Tässä tutkimuksessa keskitytään kasvihuonekaasuista aiheutuviin ilmastovaikutuksiin. Suon ilmastoon vaikuttavia kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4) sekä typpioksiduuli (N_2O). Hiilidioksidia sitoutuu suolla turpeeseen, kun hapettomiin oloihin painuvien kasviosien maatuminen hidastuu ja lähes pysähtyy (Päivänen 2007).

Hapettomien ja kosteiden olosuhteiden metaani on hiilidioksidia huomattavasti voimakkaampi kasvihuonekaasu. Metaani syntyy hapettomissa olosuhteissa elävien metanogeenisten mikrobien hajotustuotteena (Päivänen 2007). Metaani siirtyy ilmakehään diffundoitumalla turvekerroksen läpi, kuplimalla tai sarakasvillisuuden aerenkymisölukoiden kautta (Minkkinen ym. 2008). Sarakasvillisuus tarjoaa metaanille syvälle ulottuvilla juurillaan suoran siirtymäreitit lisäksi orgaanista ainetta metaania tuottaville mikrobeille. Sarasuot ovat aina metaanin lähteitä, mutta toisaalta sarat ovat tehokkaita yhteyttäjiä ja yleensä hiilidioksidin nieluja (Päivänen 2007).

Typpioksiduulia vapautuu hyvin pieniä määriä luonnontilaisilta soilta ja näin ollen soiden ilmastoon vaikuttavista kasvihuonekaasuista puhuttaessa otetaan yleensä huomioon lähinnä hiilidioksidin ja metaanin yhteisvaikutus (Minkkinen ym. 2013). Minkkinen ym. (2013) tutkimuksen mukaan ojitetuilla soilla typpioksiduulillakin voi olla merkitystä. Tämän tutkimuksen kohteena ovat ombrotofiset suot, joilla ei ole havaittu merkittäviä N_2O -päästöjä (Minkkinen ym. 2013). Päinvastoin tällaisilla soilla typpi voi olla jopa kasvua rajoittava tekijä. Rahkasammalvaltaiset suot sitovat hiiltä tehokkaammin boreaalisilla turvemailla kuin saravaltaiset suot (Turunen ym. 2002). Turusen (2002) mukaan metsäojitettujen soiden sisällä ei kuitenkaan ole merkittäviä eroavaisuuksia metaanipäästöissä. Tässä tutkimuksessa keskitytään tutkimaan kasvihuonekaasuista metaania kasvillisuuden kautta ja hiilidioksidia turpeenkestymislaskelmien avulla.

1.1.2. Ekohydrologia ja soiden luokittelua

Vedellä on elintärkeä merkitys suoekosysteemin toiminnalle, sen ekologiaan ja kasvillisuuteen. Veden ja kasvillisuuden vuorovaikutussuhdetta kutsutaan soilla ekohydrologiaksi. Ekohydrologiset olosuhteet muodostuvat veden määrän sekä laadun ajallisen ja paikallisen vaihtelun perusteella (Päivänen 2007). Suon kasvillisuuden määrää pitkälti suolle saapuvan veden mukana tulevat ravinteet ja vesi. Kasvillisuus puolestaan on iso tekijä, joka vaikuttaa suon kasvihuonekaasupäästöihin. Suokasvillisuudesta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä rahkasammalia, saramaisia kasveja sekä varpuja (Päivänen 2007). Turpeen noston jälkeen ennallistetuilla turvekentillä on havaittu erityisesti tupasvillan (*Eriophorum vaginatum*) voimakas leviäminen (Komulainen ym. 1998). Tupasvilla on lyhytkortinen eli matala saramaisiin kasveihin luokiteltava kasvi. Käsiteltyllä suolla veden liikkeeseen on yleensä vaikutettu ihmisen toimesta ja näin ollen suon ekohydrologia on muuttunut, esimerkiksi ojituksen seurauksena.

Rahkasammalen keruuta ei suunnitella luonnontilaisille soille, vaan valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta sekä ympäristönsuojelulaki (YSL) antavat raamit sopiville keruusoille, vaikka teksteissä puhutaan tarkasti turvetuotannon toimintatavoista (YSL 13 §, YSA 44 §). Lain mukaan turvetuotannon sijoittaminen ei saa vaarantaa soiden luontoarvoja, mutta toimintaa voidaan suunnitella, mikäli suon luonnontila on merkittävästi muuttunut. Luonnontilaisuusluokitukset on määritetty tarkemmin soiden ja turvemaiden kestävää ja vastuullista käyttöä ja suojelua käsittelevässä strategiassa (2012). Luokittelun mukaan 0-tyypin suon vesitalous ja kasvillisuus ovat täysin ja jopa peruuttamattomasti muuttuneita ja 5-tyyppi vastaa käytännössä luonnontilaisen suon muuttumatonta tilannetta. YSL sallii turvetuotannon luonnontilaisuusluokissa 0,1 ja 2 eli täydellisesti muuttuneilla soilla, lähes kokonaisuudessaan muuttuneilla soilla sekä suuren vaihtelun soilla. Rahkasammalen keruuta ajatellen täysin muuttuneen suon kasvillisuus ei enää vastanne keruun kannalta haluttua suon pintaa. Näin ollen luonnontilaisuusluokituksen puitteissa kohteet 1 ja 2 ovat rahkasammalen keruun kannalta mielekkäitä ja laki sallii turvetuotantotoiminnan näillä alueilla, joten oletettavasti samaa luokitusta voidaan käyttää myös uusia rahkasammalen keruualueita mietittäessä.

Suot luokitellaan ekohydrologian mukaan vähäravinteisiin rahkasoihin eli ombrotrofisiin soihiin ja runsasravinteisiin sarasoihin eli minerotrofisiin soihiin. Ombrotrofisten soiden

veden ja ravinteiden saanti on sateiden varassa, kun taas ravinteikkaammat minerotrofiset suot saavat sen lisäksi vettä ja ravinteita pohja- ja pintavesien mukana (Päivänen 2007). Minerotrofia voidaan vielä jaotella edelleen oligo- (vähä-), meso- (keski-) sekä eutrofiaan (runsasravinteinen). Suot voidaan luokitella ekohydrologiansa ja etenkin kasvillisuuden perusteella vielä suotyyppeihin. Usein yhdellä suolla saattaa esiintyä useita suotyypppejä, mutta yleensä suotyypistä puhuttaessa tarkoitetaan suon kasviyhdyskuntien keskimääräistä vallitsevuutta (Laine ym. 2018). Ombrotrofisia suotyypppejä ovat aidoista puustoisista tyypeistä: isovarapuräme (IR) ja rahkaräme (RaR) sekä avosuo ja sekatyyppeistä: tupasvillaräme (TR), keidas- eli kermiräme (KeR), lyhytkorsineva (LkN) ja rahkaneva (RaN) (Laine ym. 2018).

Suo on yleensä kasvukauden aikaan kesällä hiilinielu ja talviaikaan hiilidioksidipäästöjen lähde (Minkkinen ym. 2018). Kasvillisuudella on siis suuri vaikutus suon hiilitaseeseen kesäaikaan hiilidioksidia sitovana tekijänä, mutta toisaalta saramainen kasvillisuus kertoo runsaista metaanin päästöistä (Minkkinen ym. 2013). Mätäs- ja kuljuvaihtelut kertovat suon kosteusoloista kasvillisuuserojen kautta ja näin voidaan vertailla metaanin paikallisia päästöjä (Beyer ym. 2015, Minkkinen ym. 2018). Lämpötila ja sadanta vaikuttavat olennaisesti suon ekohydrologiaan, sillä ne säätelevät suon vedenpinnan tasoa ja vaikuttavat siten suoraan suon kasvihuonekaasutaseisiin.

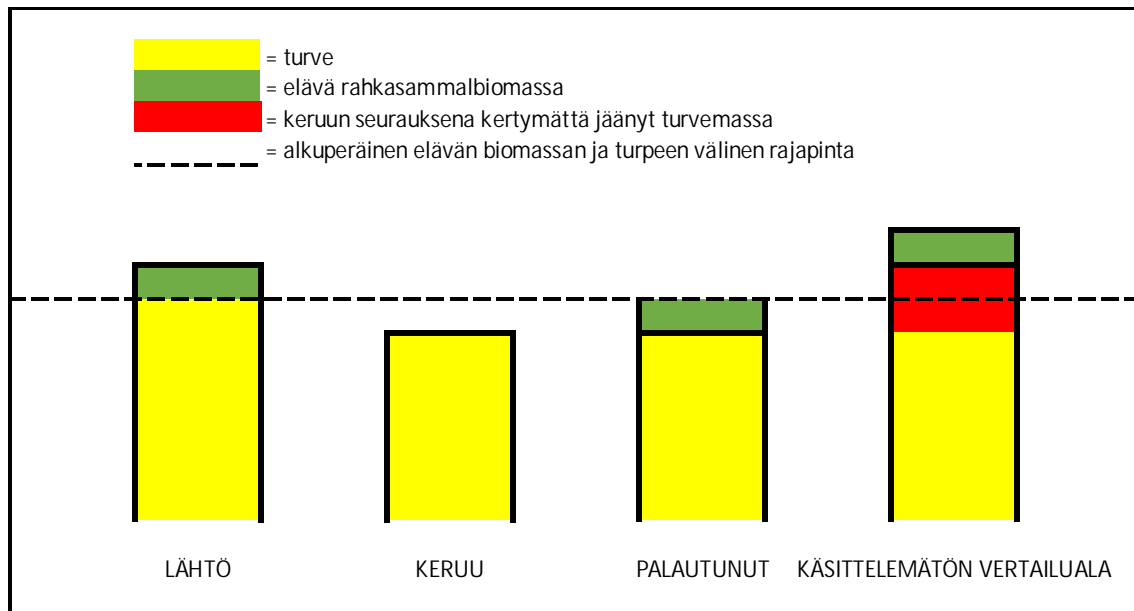
1.1.3. Turpeen kertyminen

Turpeen kertyminen on hidas prosessi ja sen takia usein poliittiselle päätöksenteolle ja tieteellekin tuntuu olevan epäselvää, onko turve uusiutuva vai uusiutumaton luonnonvara. IPCC:n ilmastopaneeli luokittelee turpeen omaksi luokakseen (IPCC 2006). Turve muodostuu märissä olosuhteissa, kun karike painuu hapellisessa akrotelmassa kohti hapetonta katotelmaa ja asteittain luonnollinen hajoaminen hidastuu ja ajan kuluessa lopulta pysähtyy (Päivänen 2007). Clymon (1984) mukaan elävästä biomassasta siirtyy turpeeksi 10 %. Turvekerroksen kertyminen on siis useiden vuosisatojen ja -tuhansien pituinen tapahtumaketju.

Turusen (2002) mukaan luonnontilaisten soiden turpeeseen on varastoitunut Suomessa hiiltä kaiken kaikkiaan noin 2260 Tg eli kyseessä on iso hiilen varasto. Vertailun vuoksi Suomen metsien runkotilavuuden sisältämä hiili on tästä vain neljäsosa eli noin 550 Tg

(Mäkinen ym. 2006, Suomen FSC-standardi 2011, Puuinfo.fi). Kaikkein eniten hiiltä kertyy heikkoravinteisilla soilla ja turpeen kertyminen voi jatkua ojitustenkin jälkeen toisin kuin ravinteikkaammilla soilla, sillä rahkasammalen tuotoksessa ja kasvillisuudessa ei tapahdu merkittäviä muutoksia (Minkkinen ym. 1998, Ojanen ym. 2013).

Rahkasammalen keruun tapauksessa turpeen luonnollinen kertymisketju pysähtyy ja arvioitu tuotoksen 10 % ei enää siirrykään entisen turvekerroksen jatkoksi (Kuva 1). Sen lisäksi turvetta lähtee suolta keruuvaiheessa rahkasammalkerroksen lisäksi. Turpeen kertyminen on pitkäaikaista hiilen varastoitumista ja tämän varastoitumisen päättyminen tai häiriintyminen on yksi keskeisimmistä huomioista tässä tutkimuksessa.



Kuva 1. Mallikuva rahkasammalen keruun vaikutuksesta turpeen kertymisdynamiikkaan. Keruun seurauksena osa elävän biomassan tuotoksesta ei kerry turpeeksi niin kuin vertailualan punaisessa palkissa. Sen lisäksi keruun takia vihreän elävän biomassan tuotos hetkellisesti häiriytyy. Kuva on havainnollistava ja eri osuuksien väliset suhteet kuvassa eivät vastaa todellista tilannetta (Kuva: Eetu Punkka).

1.1.4. Rahkasammalen keruu

Rahkasammalen keruu aiheuttaa ihmisen toimesta häiriön suoekosysteemissä. Keruuta varten kehitellyn nostokoneen koura kerää suon pinnasta rahkasammalpalan ja pudottaa sen puristimeen ja näin suurin osa vedestä palaa takaisin suolle ja jatkojalustukseen lähtävä kasvualustamateriaalimassa kevenee (Kuva 2). Keruuvaiheessa elävän rahkasam-

malmaton lisäksi mukana irtoaa vaihteleva määrä turvekerrosta, mikä pitää ottaa huomioon ilmastovaikutuksia tutkittaessa. Sen lisäksi on otettava huomioon rahkasammalen palautuminen eli miten nopeasti ja intensiivisesti käsitelty alue palautuu hiiltä sitovaksi ekosysteemiksi. Rahkasammalta on kerätty jo jonkin verran ja esimerkiksi Biolanilla on myynnissä rahkasammalpohjainen kasvualusta. Tutkimustieto Suomesta osoittaa, että rahkasammalen keruu on järkevää sen uusiutumisen kannalta, mikäli sitä kerätään kerrallaan enintään 30 cm syvyydestä, jolloin sen uusiutumiseen menee noin 30 vuotta (Silvan ym. 2017). Palautumisen kannalta olisi suotavaa, että keruu tehdään lohkoissa tai muutoin mosaiikkimaisesti, jotta kasvien ja tässä tapauksessa tietysti rahkasammalen leviäminen tapahtuisi mahdollisimman tehokkaasti. On esitetty, että jopa puolet (50 %) kerättävän suon rahkasammalalasta olisi hyvä jättää ennallistumisen ja palautumisen takia kohdesuolle (Silvan ym. 2017).



Kuva 2. Rahkasammalen keruuseen suunniteltu työkone (Kuva: Eetu Punkka).

Joitakin ennusteita rahkasammalen keruun ilmastovaikutuksista on jo olemassa. Beyerin ym. (2015) tutkimuksessa todettiin, että rahkasammalen viljelyala oli vertailualoihin nähden kaikkein ilmastoystävällisin ja vertailu kohdistui siis käsittelemättömiin siniheinä- (*Molinia sp.*), rahkasammal- (*Sphagnum sp.*) ja tupasvillasoihin (*Eriophorum sp.*). Ehtona tälle oli se, että veden pinnan korkeus pysyi tasaisen matalana lähellä maanpinnan tasoa

ja näin ollen metaanipäästöt eivät päässeet muuttamaan kasvihuonekaasutasetta negatiiviseen suuntaan. Beyerin tutkimuksessa rahkasammalta kerättiin rahkasammalen viljelyalueelta, mikä poikkeaa rahkasammalen keruusta. Viljellessä rahkasammalta toiminta on lähempänä intensiivistä maataloutta ja Suomessa taas on tällä hetkellä kiinnostuttu rahkasammalen keruusta, jossa suoalueen hoitaminen ja uudistuminen tapahtuvat pääosin luontaisesti (Gaudig ym. 2018). Näin ollen Beyerin tutkimus ei ole suoraan vertailukelpoinen, mutta antaa viitteitä tuloksista.

Rahkasammalen keruusta on vähän tutkimustietoa, vaikka sitä on jo kerätty kaupalliseen käyttöön. Alan toimijoilla on selvää kiinnostusta etsiä ilmastoystävällisiä vaihtoehtoja esimerkiksi kasvuturpeelle. Bioenergia ry:n kasvualustaryhmän (2018) mukaan rahkasammalta on tuotettu vuoden 2018 loppuun mennessä 11 suolla ja ne sijaitsevat Seinäjoen, Kihniön ja Parkanon seudulla. Yhteensä tällaista suoalaa on 52,7 ha (Rahkasammalen keruualueet... 2018). Keruulle soveltuvaa alaa Suomessa on arvioitu olevan jopa n. 300 000 ha (Näkkilä ym. 2015, Silvan 2019). Rahkasammal on elinvoimainen laji, joka suotuisissa olosuhteissa valtaa tehokkaasti kasvualaa. Sen vuotuinen kuiva biomassa-tuotos on 255 g/m² keskimäärin ja parhaillaan tuotos voi yltää 1450 g/m² vuodessa (Parkarinen ym. 1977, Gunnarsson 2005). Näin ollen tutkimusaihe on relevantti.

1.2 Tutkimuskysymykset

Tämän tutkielman tavoitteena on selvittää vastaukset seuraaviin kysymyksiin:

1. Miten rahkasammalen keruualueen kasvihuonekaasutaset eroavat käsittelemättömästä vertailualueesta?
2. Onko keruun ilmastovaikutuksissa eroavaisuuksia karujen ojitettujen soiden sisällä?
3. Miten rahkasammalen keruun ilmastovaikutukset vertautuvat kasvuturpeen vastaaviin päästölukuihin.

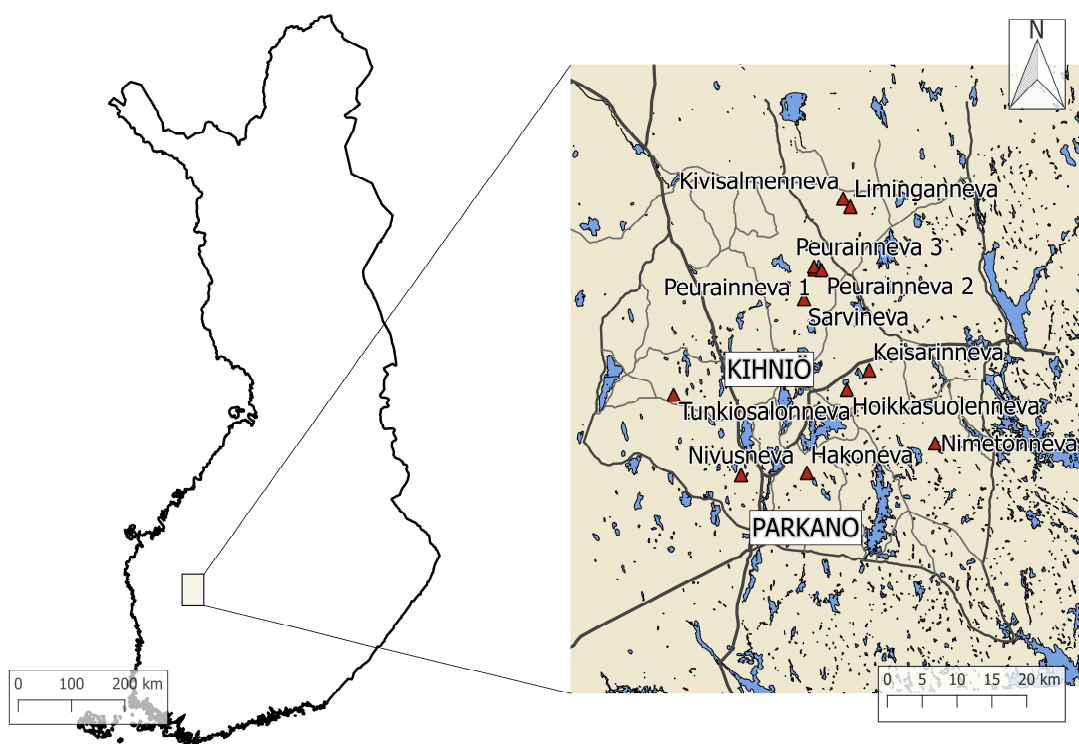
2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Aineiston hankinta

2.1.1. Koealat ja alueen raja

Kesällä 2019 Kihniön, Parkanon ja Seinäjoen seudulla suoritettu kenttätutkimus voidaan jakaa kolmeen osaan, joita olivat alueen yleiskuvaus, kasvillisuusruudut sekä turvenäytteet. Tutkimuksen kannalta kiinnostavia keruualueita oli 12 kappaletta 10 suolla ja lähtökohtaisesti tavoitteena oli suorittaa mittaukset periaatteella yksi suo per päivä. Suot valittiin toukokuussa tehdyn maastokäynnin ohessa käyttäen paikallisten sidosryhmien asiantuntijoiden aluetuntemusta hyödyksi. Kohteiden valintaan vaikutti keruualueiden rajallinen määrä sekä keruusta kulunut aika. Keruutekniikka oli varsinkin vanhimmilla keruualueilla erilainen, mutta kaikkia kohteita pidettiin silti tutkimuksen kannalta vertailukelpoisina.

Tutkimus kohdistettiin ojitettuihin ombrotrofisiin tai lievästi minerotrofisiin soihin, jotka ovat muutoin metsänkasvatukseen kelpaamattomia. Käytännössä keruualueet ja inventoivat kohteet olivat jopa kokonaan tai osittain ojittamattomia suon osia ja olosuhteiltaan lähellä luonnontilaisia. Tutkimusmenetelmien suunnittelussa tarvittiin joustavuutta kohteen erityispiirteiden mukaan; jokaisella suolla oli hieman erilainen käsittelyhistoria, ojitustilanne oli erilainen, suotyypit ja suon sisäinen vaihtelu olivat erilaisia ympäröivistä olosuhteista johtuen. Tässä tutkimuksessa tarkasteltava alue rajattiin suolle ja esimerkiksi suolle kulkevien ajourien vaikutusta ei otettu ilmastovaikutuksien tarkastelussa huomioon. Tutkimus kohdistui ainoastaan suon päästöihin ja näin ollen koneellisen keruun ja muiden keruuvaiheiden ilmastovaikutuksia ei tässä kohtaa tarkasteltu.



Kuva 3. Tutkimuksen kohdesuot kartalla (Kuva: Satu Elomaa).

Mittaukset tehtiin seuraavilla soilla: Tunkiosalonneva, Nivusneva, Hoikkasuolonneva, Liminganneva, Kivisalmenneva, Sarvineva, Nimetönneva, Hakoneva, Keisarinneva sekä Peurainneva (Kuva 3). Peurainnevalta rahkasammalta oli kerätty kolmena eri vuotena, joten Peurainnevalla tehtiin kolmet erilliset mittaukset. Mittaukset aloitettiin kesäkuussa 2019 ja aikaa kenttätöille varattiin yksi kuukausi.

2.1.2. Yleiskuvaus

Kenttätö aloitettiin suon yleispiirteiden havainnoimisella. Tätä varten perehdyttiin alueen ilmakuviin jo ennen suolle astumista. Kentällä jokainen suo kierrettiin siten, että sen peruspiirteet tulivat tutuiksi ja näitä huomioita kirjattiin taulukon avulla muistiin (Liite 1). Muistiin merkittäviä huomioita olivat esimerkiksi ojat ja niiden kunto, suotyyppi ennen keruuta, puuston tila sekä muita havaintoja, jotka selvästi määrittivät suon yleisilmettä. Tässä vaiheessa kirjattiin ylös myös havaintoja keruun jäljistä. Puustoa ei mitattu erikseen, vaan havainnot puulajeista, puiden silmämääräisestä koosta ja metsikön tiheydestä kirjattiin yleistietoihin. Kameralla dokumentoitiin myös alueen sen hetkistä tilaa valokuvien avulla.

2.1.3. Kasvillisuuden mittaaminen

Yleiskuvan muodostamisen jälkeen suoritettiin kasvillisuusruutumittaukset. Kasvillisuusruutuna käytettiin neliömetrin kokoista puukehikkoa, johon oli narun avulla tehty 10 cm x 10 cm ruudukko. Narut muodostivat 100 pienempää ruutua puukehikon sisälle ja näin ollen kasvilajien prosenttiosuudet oli mahdollista arvioida kohtalaisen tarkasti ja vaivattomasti (Kuva 4). Jokainen tarkasteltava kohde oli erilainen, joten ruutujen asettelussa tarvittiin kohdekohtaista soveltamista. Kasvillisuusruutujen tavoitteena oli muodostaa keruualueelle ruudukko, joka edustaisi keruualuetta mahdollisimman kattavasti. Koko suon kattavasta ruudukosta saatiin systemaattinen, kun kasvillisuusruudut mitattiin aina linjoissa kompassisuunnan mukaan ja ruutujen välit mitattiin kelamitalla. Tällä pyrittiin parantamaan tutkimuksen objektiivisuutta ja luotettavuutta. Joustavuutta tarvittiin, mikäli koeruutu näytti osuvan syystä tai toisesta keruualueita inventoitaessa referenssialueelle. Ruutujen väliseen etäisyyteen vaikutti keruualueen koko. Kasvillisuusruutuja mitattiin 30 ruutua rahkasammalen keruualueelta ja 5 ruutua keräämättömältä referenssialueelta. Käytännössä kasvillisuusruutumittaukset aloitettiin aina keruualoilta ja sen jälkeen etsittiin samalta suolta sopiva referenssialue.



Kuva 4. Neliömetrin kokoisen kasvillisuusruutu jaettiin sataan osaan narun avulla ja näin alan prosenttiosuudet saatiin helposti ja luotettavasti arvioitua (Kuva: Eetu Punkka).

Kasvillisuusruutujen tulosten kirjaamisen avuksi tehtiin myös oma taulukko (Liite 2). Kasvillisuusruutujen tavoitteena oli selvittää lajisuhteiden lisäksi kasvillisuuden palautumista. Näin ollen ensin kirjattiin ylös pohjakerroksen kasvien valtaaman pinnan, kasvitoman pinnan sekä vesipinnan prosenttiosuudet, joiden yhteenlaskettu summa oli aina 100 %. Tämän jälkeen tarkasteltiin tarkemmin kasvilajeja ja projektiopeittävyyttä. Taulukon avulla kasvillisuusruudusta merkittiin muistiin mätäs-, painanne- sekä välipintojen rahkasammallajien peittävyys. Varpujen osuus merkittiin ”Varvut”-yläkäsitteen alle. Ruudukolla esiintyvät rahkasammallajit sekä varpulajit merkittiin ylös lomakkeelle rastein. Saramaisten lajien osuuden arviointi tehtiin lajitasolla. Puustoa ei merkitty kasvillisuusruutuihin, sillä sen vallitsevuus kirjattiin alueen yleiskuvauksen yhteyteen. Lajisuhteet ja peittävyyden prosentit merkittiin 1 % tarkkuudella. Mikäli lajia esiintyi ruudulla, mutta ei kokonaista prosenttia, niin se merkittiin taulukkoon aina x -merkinnällä. Vertailualoilla merkittiin lomakkeelle myös metsäisiä lajeja ja metsäsammalten osuus kirjattiin yhteisen prosenttiosuuden alle samoin kuin jäkälät oman osuutensa alle. Referenssialoilla oltiin kiinnostuneita ainoastaan lajeista ja luonnollisesti kasvillisuuden peittävyyteen ei tarvinnut kiinnittää huomiota, sillä kasvillisuusruudun ala oli täysin kasvillisuuden peittämää.

2.1.4. Turvenäytteet

Kasvillisuusruutujen lisäksi konkreettisia mittauksia tehtiin kairaten ja kairattavia soita valittiin viisi kappaletta eri suotyyppettä edustaen. 60 x 7 x 3,5 cm suokairalla kairattiin referenssialta turvenäytteitä kasvillisuusruutujen keskeltä. Käytännössä kairaustekniistä syistä johtuen kairaus onnistui vain harvoin juuri halutuista kohdista, mutta vierestä pyrittiin löytämään vastaava suon pinta, mikäli ensisijaisesta kohdasta kairaaminen ei onnistunut. Turvenäytteitä ei siis kairattu jokaiselta kohteelta, vaan tarkoituksena oli saada vain eri suotyyppettä edustavat kohteet mukaan. Kasvillisuusruutujen mukaan turvenäytteitäkin tuli suotyyppiä edustavilta referenssialoilta aina viisi kappaletta eli kaiken kaikkiaan kairauksia tehtiin 5 x 5 kpl.

Työvaiheet maastossa alkoivat sopivan paikan etsimisellä, mikäli kasvillisuusruudun keskikohdan kairaaminen ei onnistunut. Sen jälkeen kasvillisuus rahkasammalta lukuun ot-

tamatta poistettiin saksilla. Tämän jälkeen kaira iskettiin suohon ja ennen kielen asentamista rahkasammalmassaa leikattiin puukolla siten, että kieli ei painaisi rahkasammalkerrosta alaspäin. Tämän jälkeen kieli asetettiin kairaan ja näyte vedettiin ylös (Kuva 5).

Turvenäyte pätkittiin paloiksi heti suolla. 50 cm pituinen näyte katkottiin pinnalta lähtien ensimmäisen 20 cm matkalta 5 cm välein (4 palaa). Seuraavat palat katkottiin 10 cm välein (3 palaa). Nämä palat merkittiin pinnalta lähtien numerojärjestyksessä 1-7. Näiden ”vakiopalojen” lisäksi turvenäyte katkaistiin aina, mikäli turpeessa oli nähtävissä selviä rajoja tai muutoksia. Tällainen tilanne saattoi tulla vastaan, mikäli rahkaturve muuttui saraturpeeksi tai kun elävä rahkasammalmassa muuttui turpeeksi. Tällainen erillisen katkaisun syy kirjattiin ylös taulukkoon, josta löytyi samalla piirretty turveprofiili ja kuvaus kerroksista (Liite 3). Näytepalat katkaistiin terävällä veitsellä ja siirrettiin näytepusseihin ja siitä edelleen välivarastointiin jääkaappiin, josta ne edelleen kuljetettiin kuivattaviksi. Tarkasti merkityt näytteet helpottivat myöhempiä tutkimuksen vaiheita.



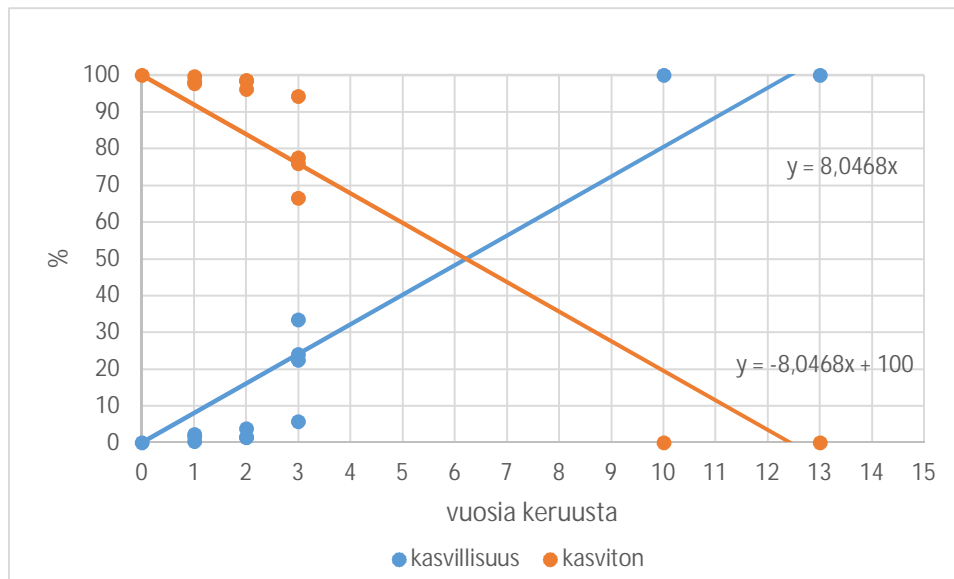
Kuva 5. Suokairan avulla kairattu turvenäyte (Kuva: Eetu Punkka).

Näytepalojen kuivamassa mitattiin laboratoriossa sammalen keruun aiheuttaman hiilidioksidipäästön laskelmia varten. Mittaustarkkuus oli 0,01 g. Kuivausta varten hankitut alumiinivuoat punnittiin ensin ja massat merkittiin kunkin vuoan pohjaan. Näytteet avattiin pusseistaan ja siirrettiin alumiinivuokiin ja vuoat siirrettiin edelleen kuivuriin, jonka lämpötila oli 105 °C. Vuokien pohjiin merkittiin suon ja näytteen tunnistet vuokien massojen viereen. Näytteitä pidettiin kuivurissa yhteensä kolme kokonaista vuorokautta. Kuivumisen edistymistä seurattiin säännöllisillä tarkistusmittauksilla ja vasta kun oltiin varmoja, että näytteet eivät enää keventyneet, aloitettiin mittaukset. Kuivuneiden näytepalojen massat merkittiin ylös tietokoneelle seuraavia laskelmia varten ja tässä yhteydessä vähennettiin alumiinivuokien massat.

2.2 Aineiston analysointi

2.2.1. Metaani

Rahkasammalen keruun aiheuttaman metaanipäästön osuuden tutkiminen aloitettiin tutkimalla kasvillisuuden palautumista. Kentältä kerätyn prosentuaalisen pinta-ala-aineiston perusteella laskettiin keskiarvot kasvillisuuden palautumiselle suokohtaisesti. Näistä keskiarvoista saatiin vastaavasti paljaan turvemaan pinta-alan prosentuaaliset osuudet vuosittain vähentämällä sadasta prosentista palautuneen kasvillisuuden osuus. Näistä osuuksista piirrettiin kuva, josta saatiin tietoon trendiviivojen avulla kaavat vuosittaiselle palautumiselle (Kuva 6). Kaavojen avulla voitiin laskea myös arviot kasvillisuuden palautumisesta niille vuosille, joilta kerättyä aineistoa ei ollut.



Kuva 6. Keruualueen kasvillisuuden ja kasvittoman pinnan prosentuaalinen palautuminen vuosittain keruun jälkeen.

Pinta-alojen ollessa tiedossa ryhdyttiin arvioimaan kirjallisuuden avulla metaanin arvoja. Kasvillisuuden palautumisen päästöjen arvioinnissa käytettiin lyhytkorsikalvakkanevatyyppistä suon metaanipäästön arvoa $12,29 \text{ g/m}^2/\text{vuosi CH}_4$ (Nykänen ym, 1998, Granberg ym. 2001, Nilsson ym. 2001, Leppälä ym. 2011). Lyhytkorsikalvakkaneva valittiin kuvaamaan palautuvan kasvillisuuden päästöjä, sillä silmävaraisten havaintojen ja kerätyn kasvillisuusaineiston perusteella keruualueiden kasvillisuus palautui sen kaltaista suotyyppiä kohti. Kasvillisuuden palautumisen prosenttiosuus kerrottiin Nykäsen ym. (1998) tutkimuksen arvolla ja jaettiin sadalla. Tämä metaanin massa kerrottiin hiilidioksidiekvivalenttikertoimella (GWP100) 34, jolloin saatiin selville vuosittaiset metaanin päästöt palautuneen pinnan osalta (IPCC 2013).

Paljaan turvemaan osalta laskettiin arvio vuosittaisesta metaanipäästöstä aikaisempia tutkimuksia apuna käyttäen (Tuittila ym. 2000b, Waddington ym. 2007, Ojanen ym. 2010, Mahmood ym. 2011, Wilson ym. 2013). Kyseisten tutkimusten vertailukelpoiset kasvillisuudesta paljaat turvemaat olivat esimerkiksi entisiä turpeennostoalueita, jotka olivat poistuneet käytöstä. Yhteensä metaanivuon laskettiin olevan paljaan maan osalta $0,24 \text{ g/m}^2/\text{vuosi}$. Tätä arvoa käytettiin kertoessa paljaan maan vuosittainen prosenttiosuus paljaan maan metaanin arvolla ja nämä arvot muutettiin hiiliekvivalenteiksi, kuten tehtiin kasvillisuuden palautumisen osaltakin. Lopulta kasvillisuuden ja paljaan maan osuudet summattiin yhteen. Tästä metaanipäästön summasta vähennettiin vielä ne metaanipäästöt, jotka olisivat vapautuneet normaalisti suolta ilman keruuta.

Rahkavaltaisen ja saravaltaisen suon metaanipäästöjen ollessa hiukan erilaiset käytettiin kahta arviota metaanipäästöistä. Rahkavaltaista suotyyppiä edusti rahkaräme, jonka keskiarvometaanipäästökseksi arvioitiin 5,34 g/m²/vuosi CH₄ (Nykänen ym, 1998, Nilsson ym. 2001, Minkkinen ym. 2007). Lyhytkortisella tyypillä eli tarkemmin lyhytkorsikalvakkanevalla keskiarvometaanipäästökseksi laskuja varten saatiin 12,29 g/m²/vuosi CH₄ (Nykänen ym, 1998, Granberg ym. 2001, Nilsson ym. 2001, Leppälä ym. 2011).

2.2.2. Hiilidioksidi

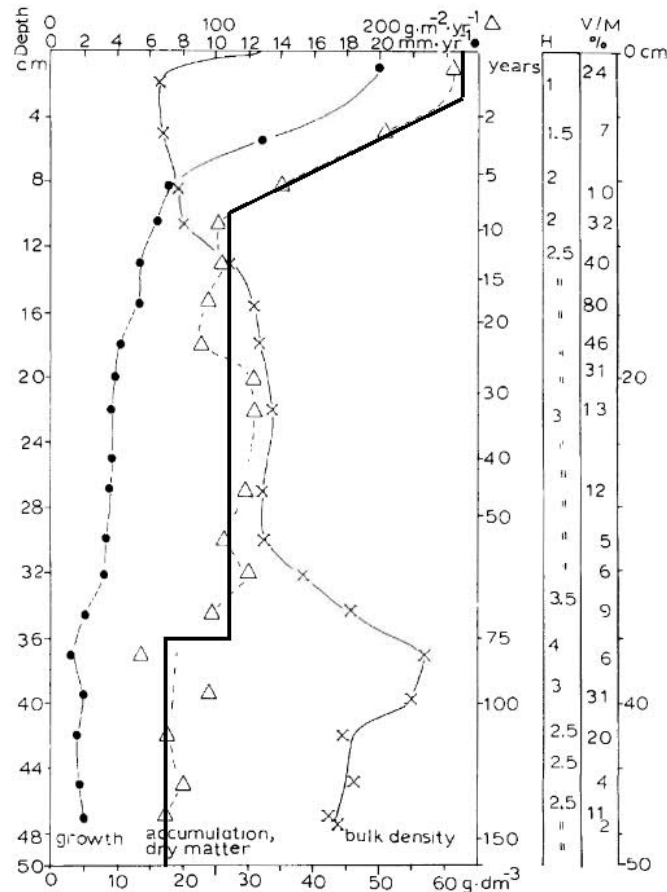
Hiilidioksidin osalta ryhdyttiin tarkastelemaan kahta seikkaa eli konkreettista keruuvaiheessa pois vietävää kasvualustamassaa sekä sen lisäksi kasvillisuuden tuotoksen keskeytymisen takia kertymättä jäänyttä uutta turvetta. Pois vietävän, tulevan kasvualustamassan hiilidioksidin laskeminen onnistui suolta kerättyjen turvenäytteiden kuivamassojen hiilipitoisuuden avulla ja tästä edelleen saatiin laskettua keruun aiheuttama hiilidioksidi. Kertymättä jäänyttä turvetta puolestaan analysoitiin palautuneen kasvillisuuden kuvaajaa apuna käyttäen (Kuva 6).

Turvenäytteiden kuivamassan mittaamisen jälkeen aloitettiin laskentavaihe. Aineisto näytteiden kuivamassasta koottiin tiedostoon suokohtaisesti. Jokaiselle näytteelle luotiin digitaalinen havaintokuva, josta kävi ilmi kuivamassojen lisäksi palojen katkomiskohdat, jotka oli kirjattu muistiin kairauksen yhteydessä. Tämän jälkeen palojen pituustietojen avulla kaikille näytteille laskettiin senttimetrikohtainen massa jakamalla kuivatun palan massa palan pituudella senttimetrin tarkkuudella. Jokaiselta viideltä suolta oli siis viisi näytettä, joiden mukaan laskettiin suokohtaiset keskiarvomassat. Näitä viittä keskiarvonaytettä ryhdyttiin tutkimaan tarkemmin ja kuivamassat muunnettiin tässä vaiheessa vertailukelpoisiksi. Massat olivat senttimetrin välein tiedossa. Jokaisen näytteen pinta-alan tiedettiin näin ollen olevan 24,5 cm² ja sen lisäksi vaihtelevat massat. Haluttu vertailukelpoinen ala oli 1 m². Näin ollen laskennassa voitiin käyttää seuraavaa kaavaa

$$x = \frac{10\,000k}{24,5} \quad (1)$$

jossa haluttu pinta-ala (10 000)/ tuntematon massa (x) = kairan pinta-ala (24,5)/ mitattu kuivamassa (k).

Seuraavaksi ryhdyttiin tutkimaan hiilen osuutta turvenäytteistä. Pakarisen ym. (1977) tutkimuksen kuvaajan (Kuva 7) avulla määritettiin eri syvyisten näytepalojen kuivamassoille kerroin siitä, kuinka monta prosenttia näytteestä päätyisi lopulta turpeeksi. Kuvasta tutkittiin siis ”kuivamassan tuotos (eli accumulation, dry matter)” -käyrää. Pakarisen ym. (1977) kuvaajan lisäksi käytettiin hyväksi Clymon (1984) tietoa siitä, että 10 % rahkasammalen tuotoksesta kertyy lopulta turpeeksi. Rahkasammalen tuotos on $255 \text{ g/m}^2/\text{v}$ (Gunnarsson 2005, Turunen 2002). Näistä voidaan johtaa tuotoksen turpeeksi kertyväksi massaksi $25,5 \text{ g/m}^2/\text{vuosi}$. 50 cm syvyydestä lähtien aina 36 cm syvyyteen kertoimena oli $25,5/70$. 36-10 cm matkalla kerroin oli $25,5/110$, minkä jälkeen jouduttiin laskemaan senttimetrikohtaiset kertoimet aina kolmeen senttiin asti, mistä eteenpäin käytettiin kerrointa $25,5/255$ eli Clymon (1984) toteama 10 %. Kertoimet kerrottiin senttimetrikohtaisilla kuivamassoilla ja kertolaskujen jälkeen oli siis selvillä turpeeksi päätyvät massat, mikäli sammalta ei korjattaisi. Turusen ym. (2002) mukaan turpeen kuivamassasta n. 50 % on hiiltä ja tätä tietoa käytettiin tässä tutkimuksessa hyödyksi. Tämän kertolaskutoimituksen jälkeen oli turpeen sisältämän hiilen osuus selvillä. Lopuksi hiilimassat laskettiin 30 cm syvyydeltä yhteen suokohtaisesti, sillä käytännössä rahkasammal kerätään keskimäärin pinnasta tähän syvyyteen asti. Hiili muutettiin vielä hiilidioksidiksi käyttäen kerrointa $44/12 = 3,67$ (Energy Education 2018).



Kuva 7. Kuiva-aineen tuotos (accumulation, dry matter) saadaan kuvan avulla suoraan, kun tiedetään näytteen syvyys ja kuivamassa (muokattu Pakarinen ym. 1977 kuvasta).

Keruun seurauksena rahkasammalen muodostuminen turpeeksi keskeytyy. Tämä on toinen asia, mikä pitää ottaa hiilidioksidilaskelmissa huomioon. Vuodessa turvetta jää kertymättä $25,5 \text{ g/m}^2$ (Turunen 2002, Gunnarsson 2005). Kasvillisuuden ja rahkasammalen palautuessa tämä osuus kokonaispäästöissä pienenee ja lakkaa kasvillisuuden palautuessa täysin.

Kasvillisuuden palautumisesta ja paljaan turvemaan suhteesta piirrettiin kuvaaja ja tästä laskettiin vuosittaiset kasvillisuuden peittävyden ja paljaan turvemaan prosentuaaliset pinta-alaosuudet (Kuva 6). Tässä laskelmassa oltiin kiinnostuneita nimenomaan paljaan turvemaan pinta-alan prosenttiosuuksista. Turpeeksi kertymätön massa kerrottiin pintaalojen prosenteilla ja jaettiin sadalla. Näin saatiin vuosikohtaiset turvemassat, jotka edelleen kerrottiin 0,5, jotta saatiin selville hiilen osuus (Turunen ym. 2002). Hiilen massa muutettiin kertoimella 3,67 hiilidioksidiksi (Energy Education 2018). Näin vuosikohtaiset hiilidioksidipäästöt saatiin tältä osin laskettua.

2.2.3. Turvetuotantovertilu

Rahkasammalen keruun tuloksia haluttiin vertailla kasvuturpeen keruun vastaaviin ilmas-
tovaikutuksiin. Salon (2019) suullisen karkean arvion perusteella turvetta kerätään turve-
tuotantoaloilta olosuhteista riippuen keskimäärin $1,73 \text{ kg/m}^2$. Tästä laskettiin edelleen,
että neliömetriltä vapautuu hiiltä turpeen massasta puolet eli $0,87 \text{ kg}$, joka edelleen ker-
rottiin arvolla 3,67. Näin saatiin turvetuotannossa pois vietävän kasvualusta-aineksen hii-
lidioksidin massaksi $3,18 \text{ kg/m}^2$.

Turvekentän päästöjen arvioinnissa käytettiin valmiiksi vertailtua aineistoa kirjallisuu-
desta. Hiilidioksidin vuosittaiseksi päästöksi saatiin siten $0,75 \text{ kg/m}^2/\text{vuosi}$ ja metaanin
päästöksi hiilidioksidiekvivalenteiksi muutettuna $0,01 \text{ kg/m}^2/\text{vuosi}$ (Pohjala 2014).
Kaikki yhteen laskettuna kasvuturpeen keruun päästöt tässä vaiheessa olivat $3,94$
 $\text{kg/m}^2/\text{vuosi}$. Tämä tulos jaettiin vielä tuotetulla kuivamassalla, jolloin päästölukemista
saatiin vertailukelpoiset.

3 TULOKSET

3.1 Yleisilme

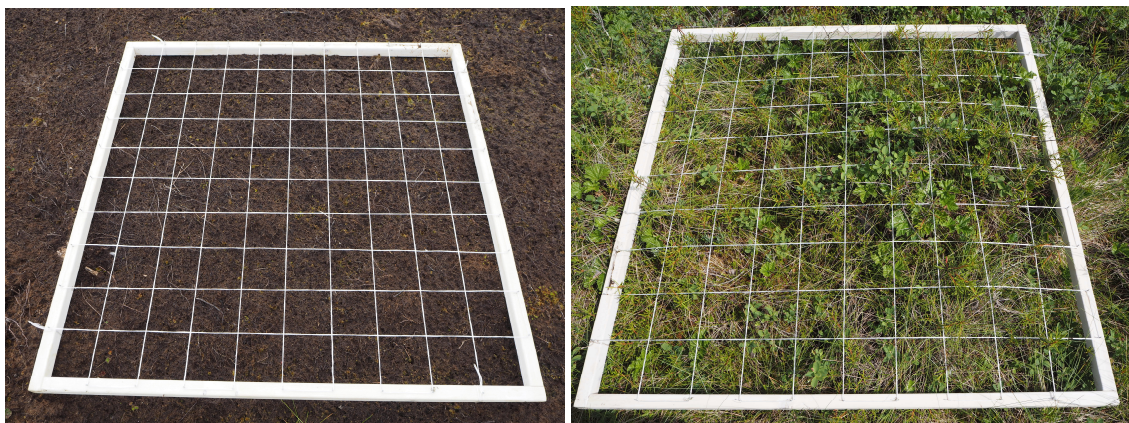
Tutkimuksen kohteena olleet rahkasammalen keruualueet olivat yleisilmeeltään rahkasammal- ja mäntyvaltaisia. Valtaosalla keruualueista kasvoi 1–5 metristä männikköä. Ainoastaan Kivisalmenneva oli selvästi puutonta rahkanevaa suon reunoja lukuun ottamatta. Toiset kohteista olivat selvästi lyhytkortisempia ja toiset taas rahkaisempia. Hyvin silmiinpistävää oli tupasvillan tehokas leviäminen ensimmäisenä pioneerilajina keruun jälkeisille aloille. Sen lisäksi lakka (*Rubus chamaemorus*), rahkasammalista erityisesti rämerahkasammal (*Sphagnum angustifolium*) sekä varvuista kanerva (*Calluna vulgaris*) olivat runsaslukuisimpia leviäjiä kasvittomille keruualoille. Kihokki (*Drosera sp.*) vaikutti menestyvän myös varsin hyvin tuoreimmilla palautuvilla keruualoilla. Soiden kasvillisuus ja puuntuotoskyky eivät olleet suuresti muuttuneet millään keruukohteella ojituksien takia. Arviolta 1970-luvun aikoihin kaivetut ojat olivat pääosin jo kasvaneet umpeen tai perattu vain muutamalla kohteella.



Kuva 8. Rahkasammalen keruualueen ja referenssialueen raja Limingannevilla (Kuva: Eetu Punkka).

Suot olivat inventoitavaan aikaan hyvin kuivia, mutta esimerkiksi Limingannevilla jouduttiin soveltamaan kasvillisuusruutujen asettelua erityisen paljon märkyydestä johtuvan upottavuuden vuoksi (Kuva 8). Kuivuutta selitti inventoitavan ajankohdan sateettomuus ja varsin lämpimät olosuhteet, mutta myös osalla suoalueita ympäröivät osin kunnostetut ojat. Keruualueilla oli merkkejä kuivuneista eri kokoisista allikoista ja muutamalla kohteella oli inventoitavasta alasta jonkin verran vesipintaa. Osa kohteista, kuten Hakoneva, oli sammalen kerääjien mukaan valmisteltu turpeen keruuta varten esimerkiksi kunnostusojituksin ja varmasti tästäkin syystä hyvin kuivia.

Uusimpien keruualueiden yleisilmettä hallitsivat laajat lähes kasvittomat alat sekä tupasvilla (Kuva 9). Esimerkiksi Peurainnevan keruualueet oli kerätty hyvin tasaisesti ja kasvillisuus oli levittäytynyt tasaisen harvaan koko alueella. Toisilla alueilla keruun jäljiltä oli jäänyt mättäitä ja keräämättömiä ajouria, joiden läheisyydessä kasvillisuus oli selvästi runsaampaa kuin keskellä keruualaa. Tällaisella mättäiden ja painanteiden hallitsemalla suolla välipinnat osoittautuivat rahkasammalelle suotuisimmaksi kasvupaikaksi levitä. Välipintojen kosteusolosuhteet lienevät olleen suotuisammat ja tasaisemmat kuin korkeat, kuumat ja auringon paahtamat mättäät tai toisaalta hyvin märät kuljut. Vanhempien keruualueiden rajat olivat sulautuneet maastoon jo varsin hyvin ja eron pystyi paikoin havaitsemaan enää korkeuseron avulla.

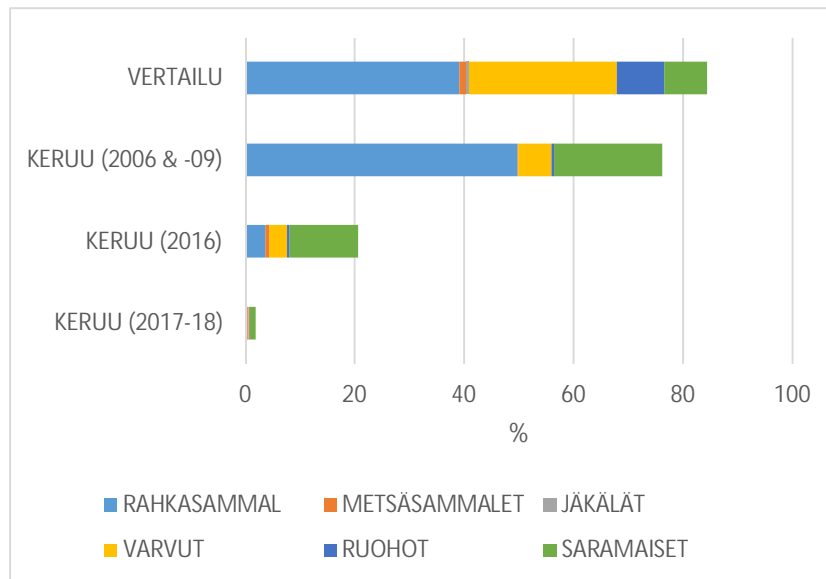


Kuva 9. Kasvillisuusruutu keruualueella (vas.) ja referenssialueella Limingannevilla. Kasvillisuus ei ole palautunut vielä ollenkaan tällä ruudulla (Kuvat: Eetu Punkka).

3.2 Kasvillisuus ja sen palautuminen

Valtaosalla tutkituista soista rahkasammal oli korjattu viimeisen kolmen vuoden aikana. Kasvillisuutta näillä uudemmissa kohteilla edustivat lähinnä kanerva sekä erityisesti tupsavilla. Kahdella vanhimmalla tutkitulla keruualalla kasvillisuus oli palautunut täysin, joten näiden kahden suon perusteella voidaan arvioida soiden yleistä kehityslinjaa. Mätäs-, välipinta- ja kuljurahkasammalien suhteissa oli tapahtunut muutoksia, mutta kokonaisuudessaan rahkasammalen osuus oli pysynyt melko samana ennen ja jälkeen keruun. Tunkiosalonnevalla varvut ja lakka olivat lisääntyneet keruun jälkeen, kun taas Keisarinnevilla tilanne oli päinvastainen. Lyhytkortisuutta ilmentäviä kasveja oli molempien soiden keruualueilla enemmän kuin referenssialueilla.

Tarkastelun helpottamiseksi suot jaettiin kolmeen ryhmään (Kuva 10). Yhteen niputettiin kaikista tuoreimmat keruukohteet eli vuosina 2017 ja 2018 kerätyt suot. Kolme vuotta sitten eli vuoden 2016 aikana kerätyistä soista muodostettiin yksi ryhmä ja loput kaksi täysin palautunutta suota yhdistettiin havainnollistamista varten. Kuvasta 10 käy ilmi, että tämä viimeinen ryhmä eli 2006 ja 2009 kerätyt kohteet eivät olisi uudistuneet täysin eli 100 %. Samoin kuvan vertailualueiden keskiarvosta muodostettu prosenttiosuusjakauma ei ylitä 100 %. Nämä virheet aineistossa johtuvat kenttätutkimusvaiheessa sattuneesta tutkimuksen tekijän huolimattomuudesta. Silmämääräisesti näillä kohteilla kasvillisuus oli palautunut täysin, mutta mitatessa kasvilajisuhteita 100 % ylitystä ei syystä tai toisesta osattu huomioda ja virhe menee tutkimuksen tekijän kokemattomuuden piikkiin. Käytännössä sammalten osuus olisi todellisuudessa näissä luokissa ollut suurempi kuin nykyisessä aineistossa. Siitä huolimatta kuvan 10 avulla voidaan tarkastella kasvilajien suhteita, sillä inventoimistyyli ei muuttunut mittausten edetessä.



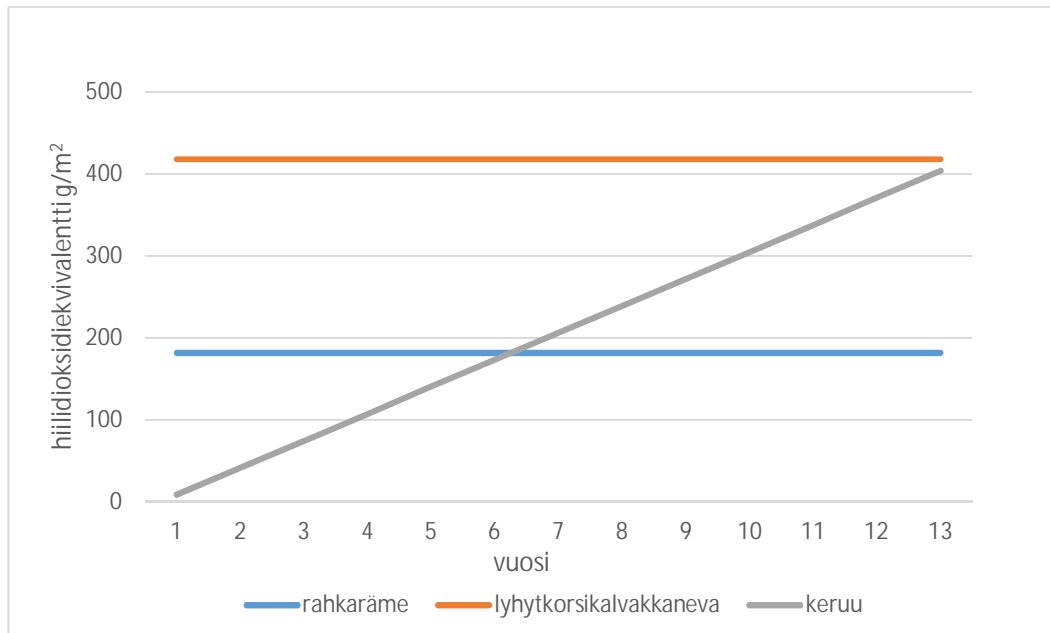
Kuva 10. Kasvillisuuden peittoisuus ja kasvilajisuhteet keskimääräisesti vertailualoilla sekä kolmen keruuvuoteen perustuvan ryhmän osalta.

Vanhoista soista Tunkiosalonnevan kasvillisuus oli palautunut lähes samanlaiseksi kuin ennen keruuta. Tunkiosalonneva oli alun perin saramaisten kasvien valtaama lyhytkorsikalvakkaneva ja keruun jälkeen suotyyppeä ei juuri ole muuttunut. Keisarinnevan osalta muutos oli selvempi. Rahkaräme oli muuttunut selvästi lyhytkortisempaan suuntaan, vaikka Keisarinnevan keruusta oli kulunut enemmän aikaa kuin Tunkiosalonnevan keruusta. Tuoreimpien vuosien 2017 ja 2018 aikana kerättyjen kohteiden kasvillisuus oli palautunut noin 2 %:lle pinnasta. Valtaosa suon pinnasta oli tummaa turvekenttää ja vähäisen kasvillisuuden muodostivat lähinnä pienet tupasvilla- ja kanervatupsut sekä rahkasammalista välipintalajit. Vuonna 2016 kerättyjen rahkasammalalueiden kasvillisuudesta oli puolestaan palautunut hiukan yli 20 %. Kasvillisuutta hallitsivat edelleen vuoden 2016 keruusoilla vain harvat lajit ja tupasvilla erityisen näkyvästi.

3.3 Metaanin päästöt

Kasvillisuus palautui täysin tässä tutkimuksessa jo 10 vuodessa ja viimeistään 13 vuodessa. 13 vuoden aikana ilmakehään päätyi kasvillisuuden myötä metaania 89,43 g/m². Paljaan maan vastaava metaanin päästö oli 1,61 g /m² 13 vuoden aikana. Kaiken kaikkiaan hiilidioksidiekvivalenteiksi muutettuna kasvillisuuden ja paljaan maan osuuden ilmastovaikutus oli yhteensä 3,08 kg/m² CO₂-ekv. Vertailun vuoksi käsittelemättömällä

rahkarämeellä ilmastovaikutus samassa ajassa oli 2,36 kg/m² CO₂-ekv ja lyhytkorsikalvakkanevalla 5,43 kg/m² CO₂-ekv. Kuvasta 11 nähdään, kuinka vuositason keruukohteen päästöt alkavat lähestyä lyhytkorsikalvakkanevan metaanipäästöjä. Harmaa suora kuvaa keruualueen metaanipäästön kehitystä ja 13. vuoden aikana sen lukema on jo 403,77 g/m² CO₂-ekv. Rahkarämeen lukema vuosittain on 181,56 g/m² CO₂-ekv ja lyhytkorsikalvakkanevan 417,86 g/m² CO₂-ekv (Kuva 11).



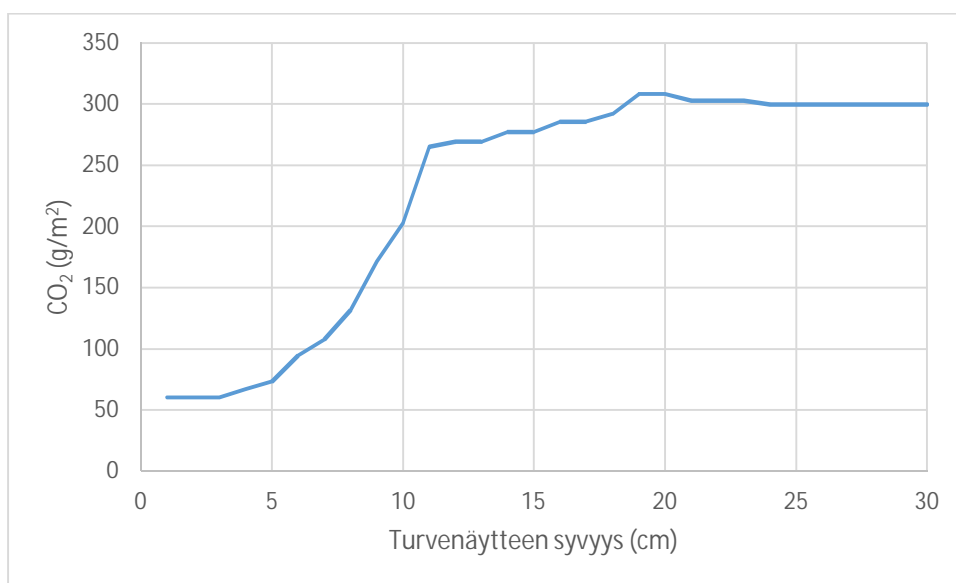
Kuva 11. Keruualueen metaanipäästöt nousevat kasvillisuuden palautuessa lähelle lyhytkorsikalvakkanevan tasoa.

Keruualueen yhteenlasketusta metaanipäästöstä vähennettiin vielä se metaanin osuus, joka olisi syntynyt kasvillisuudesta käsittelemättömällä suon pinnalla. Suotyyppien erilaisuudesta johtuen tulos laskettiin rahkavaltaisimmille ombrotofisille soille vähentämällä keruualueen päästöstä 5,34 g/m²/vuosi CH₄ sekä lyhytkortisemmille ja jo lievästi minerotrofisille soille vähentämällä 12,29 g/m²/vuosi CH₄ (Nykänen ym. 1998, Granberg ym. 2001, Nilsson ym. 2001, Leppälä ym. 2011). Näin ollen vertailualueen päästöt vähentäen rahkaisemmalla suotyyppillä metaanitaso oli 0,72 kg/m²/vuosi CO₂-ekv ja lyhytkortisemmalla suotyyppillä -2,34 kg/m²/vuosi CO₂-ekv. Rahkarämeen tulos oli siis ilmaston kannalta haitallisempi, sillä tutkimuksessa ajassa koskematon rahkaräme olisi tuottanut metaania vähemmän kuin rahkasammalen keruun aiheuttama alue. Lyhytkorsikalvakkanevan metaanipäästöt olivat mahdollisesti tupasvillan seurauksena jo lähtökohtaisesti paljon suuremmat. Näin ollen metaanin osalta tilanne oli keruualueella 13 vuoden tarkastelujaksolla ilmaston kannalta parempi kuin referenssialueella. Keruun jälkeen paljaan

maan vaiheessa metaanin tuotos väheni merkittävästi vähentäen metaanin päästöjä heti keruun jälkeen. Kasvillisuuden palaututtua täysin keruualueen päästöt näyttäisivät nousevan samalle tasolle lyhytkorsikalvakkanevan päästöjen kanssa (Kuva 11).

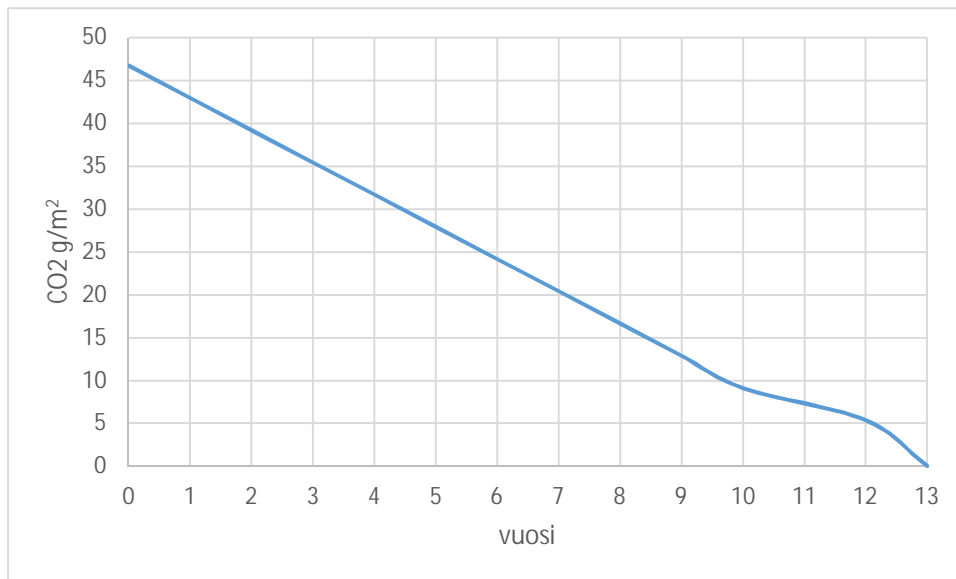
3.4 Hiilidioksidin päästöt

Keruvaiheessa viedyn ja 30 cm paksun rahkasammalen seurauksena ilmakehään vapautui keskimäärin $6,87 \text{ kg/m}^2 \text{ CO}_2$ (Kuva 12). Suurin osa tästä päästöstä aiheutui siitä massasta, joka poistui suolta 10 cm syvemmälle mentäessä. Kuvasta nähdään, että keruu olisi optimaalisinta pinnasta ilmastonäkökulmasta ajatellen (Kuva 12). Viiden tutkitun suon osalta tuloksissa oli selvää hajontaa. Nimetönnevan (rahkaräme) keskimääräinen päästö oli $5,22 \text{ kg/m}^2 \text{ CO}_2$, kun taas korkeimmillaan vastaava lukema oli Sarvinevalla (isovarpuräme/keidasräme) $9,20 \text{ kg/m}^2 \text{ CO}_2$.



Kuva 12. Kerätyn rahkasammal-turvepalan CO₂-päästö/ näytteen syvyys.

Toinen hiilidioksidilaskelmiin kuuluva osuus oli keruun seurauksena puuttuvan kasvillisuuden seurauksena lakanneen turpeen kertymisen päästöt 13 vuoden palautumisajalla ja tämä päästö oli yhteensä $0,31 \text{ CO}_2 \text{ kg/m}^2$. Vuosittain menetetyn tuotoksen aiheuttamaa hiilidioksidipäästöä oli $47,75 \text{ g/m}^2 \text{ CO}_2$, kun koko neliömetrin ala oli kasviton (Kuva 13). Kasvillisuuden lisääntyessä tämä kasvittoman alan kerroin pieneni ja 13 vuoden jälkeen tämä vaikutus ilmastopäästöihin lakkasi kokonaan, kun kasvillisuus oli täysin palautunut.



Kuva 13. Turpeeksi kertymättä jääneen biomassan CO₂-päästö 13 vuoden aikana. Kasvillisuuden lisääntyessä päästö pienenee, kun uusi kasvillisuus alkaa jälleen kerryttää turvetta.

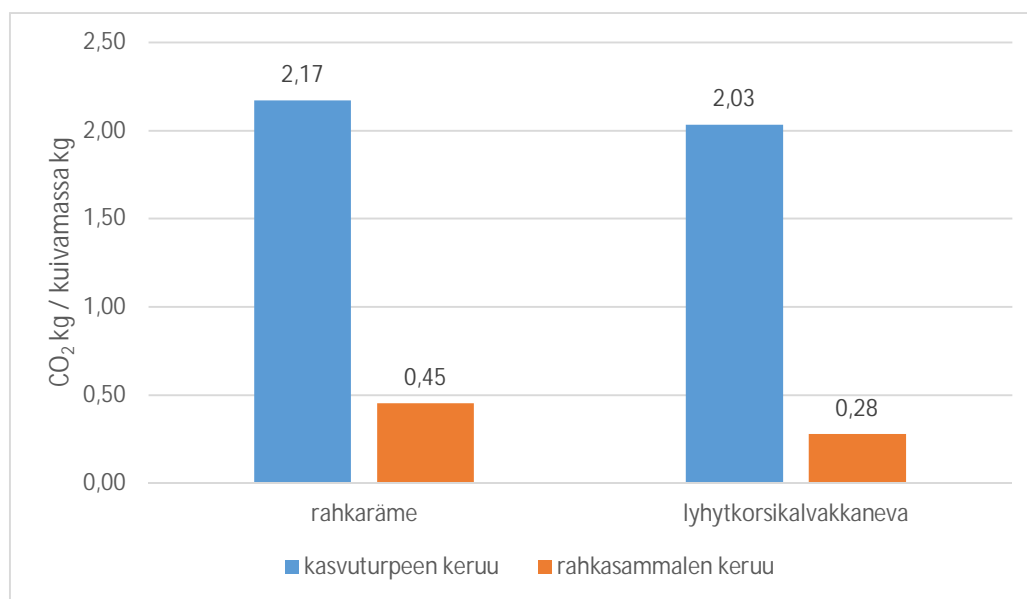
3.5 Kaikki päästöt

Kaikki päästöt yhteen laskettuna 13 vuoden palautumisen aikana rahkasammalvaltaisella suolla olivat 7,91 kg/m² CO₂-ekv ja alun perin lyhytkortisella suolla vastaava lukema oli 4,84 kg/m² CO₂-ekv, kun keruusyvyys oli 30 cm ja hiilidioksidiekvivalenttien massoista oli vähennetty referenssialueiden kasvillisuudesta johtuvat metaanipäästöt. Ennen vertailualueiden päästöjen vähennyksiä rahkasammalen keruun ilmastovaikutus oli 10,26 kg/m² CO₂.

Kasvuturpeen päästöjen on arvioitu olevan pois vietävän massan osalta vuodessa 3,18 kg/m² CO₂ (Salo 2019). Lisäksi kentän päästöt ovat yhteensä vuosittain 0,76 kg/m² CO₂ (Pohjala 2014). Vähennettäessä referenssialueiden päästöt päästölukemat olivat alun perin rahkarämettä muistuttavalla suotyyppillä 3,76 kg/m² CO₂ ja lyhytkorsikalvakkanevan tapaisella suolla 3,52 kg/m² CO₂.

Vertailukelpoisuuden parantamiseksi päästökilot jaettiin vielä niitä vastaavilla tuotetuilla kasvualustakuivamassoilla (Kuva 14). Sen myötä voidaan todeta vertailukelpoiset tulokset. Rahkasammalmassan osalta jaettavan massan summa oli 17,55 kg/m² ja kasvuturpeen osalta 1,73 kg/m². Kasvuturpeen ilmastopäästöt menevät molemmilla vertailtavilla aloilla yli kahden kilon (2,17 CO₂ kg ja 2,03 CO₂ kg), kun taas rahkasammalen keruu vastaavat ilmastovaikutukset ovat selvästi pienemmät eli alle puoli kiloa (0,45 CO₂ kg ja 0,28 CO₂

kg) (Kuva 14). Rahkarämeen kaltaisella lähtösuolla toimet ovat joka tapauksessa hiukan haitallisempia ilmastolle kuin lyhytkortisuutta ilmentävällä suolla.



Kuva 14. 13 vuoden KHK-päästöt eri keruualoilla.

4 TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Ilmastovaikutus ja kasvillisuus

Kaiken kaikkiaan yhteenlaskettu ilmastovaikutus hiilidioksidiekvivalenteiksi muutettuna oli $10,26 \text{ kg/m}^2 \text{ CO}_2$. Rahkasammalvaltaisemman suon korkeampaa päästölukua selittää suon alkuperäinen tila; ilman käsittelyä rahkavaltainen suo päästää vähemmän metaania ilmakehään kuin lyhytkortinen suo. Rahkasammalen keruu on siis lähtötilanteeseen verrattuna ilmastoystävällisempää lyhytkortiselta suolta tässä tutkimuksessa tehtyjen laskelmien perusteella. Tätä tulosta tukee myös tutkimuksen kasvillisuusaineisto, jonka mukaan 10 ja 13 vuotta vanhat suokohteet muistuttavat enemmän lyhytkortisia soita palautuneelta lajistoltaan, vaikka suo olisi lähtötilanteessa ollutkin rahkasammalvaltainen.

Kasvillisuuden osalta tupasvillan voimakas pioneerilajivaikutus oli hyvin silmiin pistävää. Tutkimuksissa sekä Suomessa että maailmalla on havaittu, että tupasvilla vaikuttaa positiivisesti myös rahkasammalen runsastumiseen paljaalla turvemaalla, sillä rahkasammalta alkaa esiintyä tupasvillan tuuhean kasvuston juurella (Grosvernier ym. 1995, Tuittila 2000a). Myös tässä tutkimuksessa havaittiin paikoittain sama ilmiö kolme vuotta vanhoilla kohteilla, esimerkiksi Hoikkasuolennevallalla. Ehkä merkittävämpi, selvästi rahkasammalen leviämistä edistävä, seikka näytti olevan suon pinnan muodoilla. Välipinnat mättäiden varjossa ja tasaisemman kosteuden vaikutuksessa näyttivät olevan suotuisimpia paikkoja rahkasammalen leviämistä ajatellen. Syvät allikot olivat jääneet esimerkiksi 10 vuotta sitten kerätyllä Tunkiosalonnevallalla edelleen hyvin märiksi, vaikka kuljurasammaleet olivatkin siellä runsastuneet. Keruun kannalta kuljujen rahkasammaleet eivät ole haluttuja. Sen lisäksi keräämättä jääneet kaistaleet tai ajourat rahkasammalen keruualoilla vaikuttivat huomattavasti kasvillisuuden peittävyys palautumiseen, ja rahkasammalpeite oli selvästi runsaampaa ja nopeammin levinnyt juuri näillä kohdoin keruualoja.

Suurin osa rahkasammalen keruun ilmastopäästöstä muodostuu keruuvaiheessa vietävästä kasvualustamassasta. Päästöä kokonaisuudessaan saisi pienennettyä, mikäli rahkasammalta onnistuttaisiin keräämään vain pinnasta, esimerkiksi noin 10 cm syvyydestä (Kuva 12). Tässä tapauksessa rahkasammalta pitäisi toki kerätä laajemmilta alueilta saman kapasiteetin saavuttamiseksi. Pois vietävän aineksen suurimmat hiilidioksidipäästöt muodostuvatkin 10–30 cm syvyydeltä kerätystä massasta. Käytännössä keruutekniikasta johtuen rahkasammalta kerätään tällä hetkellä noin 30 cm syvyydeltä ja tämän oletuksen mukaan tulokset on laskettu tässäkin tutkimuksessa.

4.2 Tulosten luotettavuus

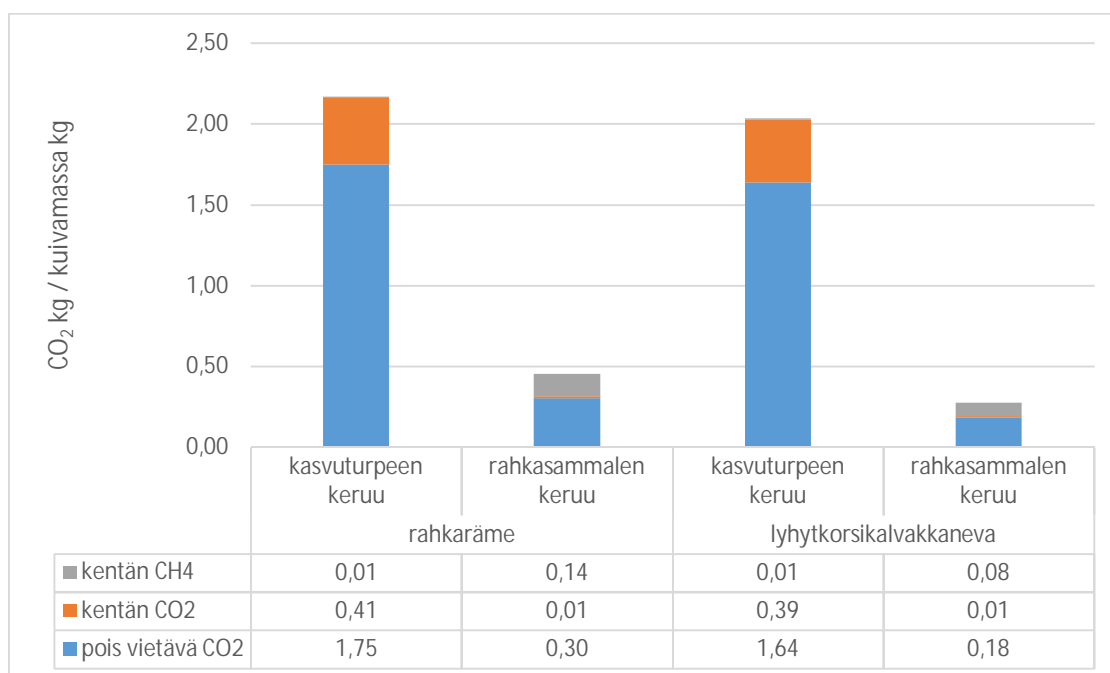
Tutkimuksen luotettavuutta pohtiessa on syytä muistaa, että keruukohteet olivat pääasiassa hyvin nuoria tai jo yli 10 vuotta vanhoja. Kohteita oli tutkimuksessa myös varsin vähän, varsinkin vanhempien kohteita, ja kehityksen seuranta ajatellen monen vuoden kasvillisuuden kehityksestä ei saatu tähän tutkimukseen aineistoa lainkaan. Näin ollen kasvillisuuden palautumisen ja kehittymisen ennustaminen on haarukoivaa. Erityisesti tupasvillan selvä runsastuminen voi lisätä tässä tutkimuksessa arvioitua ilmastovaikutusta metaanin osalta, mikäli tupasvillan runsastuminen jatkuu kolmannen palautumisvuoden jälkeen yhtä voimakkaana kuin alussa. Kymmenessä vuodessa saramaisten kasvien osuus oli noin 20 %. Haarukoiden voidaan olettaa, että tupasvillan osuus 3 ja 10 vuoden välillä on minimissään 15% ja maksimissaan 30 %, jonka jälkeen tupasvillan osuus pienenee mittauksissa havaittuun vajaan 20 % lukemaan. Kehitystä tästä eteenpäin ei tiedetä. Näyttäisi siltä, että alun perin rahkasammalta ilmentävät suotyypit muuttuvat kuitenkin selvästi lyhytkortisemmiksi pitkäksi aikaa.

Tässä tutkimuksessa ei otettu huomioon ajourien, uomien tai ojien vaikutusta. Kuivuuden ja kosteuden vaihteluita ei otettu huomioon. Tästä tutkimuksesta puuttuu myös pitemmän ajan seurantatieto. Koealoilla käytiin kerran ja kasvukauden ajankohta saattoi vaikuttaa tuloksiin. Työ suunniteltiin tosin siten, että kasvillisuus olisi parhaassa mahdollisessa kunnossa tutkittavaan aikaan. Sen lisäksi tulokseen on voinut jonkin verran vaikuttaa kasvillisuuden projektiopeittävyttä arvioidessa sattunut tutkimuksen tekijän virhe. Seuraavissa tutkimuksissa tuloksia voisi tarkentaa tekemällä konkreettisia mittauksia kohdealu-

eilla kirjallisuuteen ja malleihin nojaamisen sijaan, vaikka tämän tutkimuksen avulla varmasti saadaankin suuntaa antava käsitys rahkasammalen keruualueen ilmastovaikutuksista.

4.3 Päästöjen vertailu

Turpeen käyttöön liittyvät kysymykset Suomessa ovat varsin politisoituneita ja luonnollisesti eri näkökulmia edustavien tahojen ja poliittisten puolueiden on ollut haastavaa määrittellä yksimielisiä linjauksia. IPCC:n ilmastoraportti, Pariisin ilmastopöytäkirja sekä Suomen EU-puheenjohtajuus ovat luoneet painetta entistä näkyvämpiin ilmastotoimiin ja eri sektoreiden yksityiskohtaisempaan tarkasteluun. Hallitusohjelmasta löytyy huomautus suo- ja turvemaiden päästöjen vähentämisestä sekä turvealalle toivottavasta strategia-muutoksesta, jossa turpeen käyttö ohjautuisi energiakäytöstä kohti korkeamman jalostusasteen tuotteita (Pääministeri Rinteen hallitusohjelma 2019). Näitä näkökulmia punnitessa rahkasammalen keruu voisi olla osaratkaisuna päästötalkoissa.



Kuva 15. Keruun ilmastovaikutuksien osuudet eri suotyypeillä ja eri keruutavoilla CO₂ kg / kuivamassa kg.

Kuvasta 15 voidaan todeta, että rahkasammalen keruu näyttäisi siis olevan kasvuturvetta ilmastoystävällisempi vaihtoehto. Rahkarämeen tapauksessa tuotetun kasvuturvekilon

päästöt ovat melkein viisinkertaiset rahkasammalen keruuseen verrattuna ja lyhytkorsikalvakkanevan tapauksessa ero vieläkin suurempi eron ollessa yli seitsenkertainen rahkasammalen keruun hyväksi.

Sekä rahkasammalen että kasvuturpeen keruussa suurimman osan kokonaispäästöstä aiheuttaa suolta pois vietävä materiaali. Kasvuturpeen kohdalla tämä päästö on suhteellisesti vielä valtavan paljon suurempi, sillä pois vietävä turve kerätään syvemmältä suosta. Kentän päästöjen osalta hiilidioksidia vapautuu suuri osa turvetuotantoalueilla, kun taas rahkasammalen keruualueilla suurempi osan kentän päästöistä tulee metaanista. Tätä selittää lyhytkortisen kasvillisuuden palaaminen rahkasammalen keruun jälkeen, mitä ei tapahdu jatkuvasti tuotannossa olevalla turvetuotantokentällä. Suuri hiilidioksidipäästö turvetuotantoalueella liittyyneen turpeen kiihtyneeseen hajoamiseen sen päästessä kosketuksiin hapen kanssa ja kun kasvillisuuden palautuminen ei pääse estämään sitä.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää rahkasammalen keruun ilmastovaikutuksia kasvihuonekaasujen osalta mahdollisia jatkotutkimuksia pohjustaen. Rahkasammalen keruu ei tietysti ole päästötöntä ja käsittelemättömään suohon verrattuna rahkasammalen keruu lisää suon kasvihuonekaasupäästöjä. Rahkasammalen keruu näyttäisi olevan kuitenkin kasvuturvetta ilmastoystävällisempi vaihtoehto kasvualustatuotannon ilmastovaikutuksia tarkasteltaessa soiden päästöjen osalta. Pitkään kertyneen kasvuturpeen hiilen vapautuminen ilmakehään tuottaa suuremmat päästöt kuin vähemmän turvetta sisältävän elävän ja verraten nopeasti uudistuvan rahkasammalen keruun päästöt. Keruun jäljet ovat suolla ovat alkuun varsin rajut, mutta suokasvillisuus palautuu verraten nopeasti. Lisäksi tämän tutkimuksen perusteella rahkasammalen keruu on ilmaston kannalta parempi vaihtoehto lyhytkortisuutta tai saraisuutta ilmentävällä ombrotrofisella suotyypillä kuin rahkasammalvaltaisella suotyypillä.

Turpeen käytön ja turpeen aseman ongelmallisuutta pohtiessa rahkasammal vaikuttaa hyvältä vaihtoehdolta. Epäonnistuneilla metsäojitetuilla soilla uuden luonnonvaran hyödyntäminen voisi olla potentiaalinen vaihtoehto selvästi haitallisemmille turvekentille. Ilmastonäkökulman lisäksi tällainen uudenlainen joutomaiden hyödyntäminen vaikuttaa kiinnostavalta maanomistajien taloudellista näkökulmaa ajatellen.

Uusien keruualueiden etsintä herättänee kysymyksiä tulevaisuudessa. Voidaan pohtia, riittääkö keruun näkökulmasta hidassyklisempi rahkasammalbiomassa kattamaan kaikkea kysyntää, joka keruun kannalta tuottavampaan kasvuturpeeseen kohdistuu. Soiden suojelun ja hyödyntämisen välinen suhde on otettava rahkasammalen keruusuunnitelmissa huomioon. Soiden hyödyntämistä ei voida määrättömästi enää lisätä, sillä varsinkin Etelä-Suomen suot ovat tällä hetkellä pitkälti tavalla tai toisella ihmistoiminnan vaikutuksen alla. Soiden ennallistaminen saattaisi tarjota lisää pinta-alaa rahkasammalen keruulle ja näin yhdistää suojeluarvoja ja uuden luonnonvaran hyödyntämistä. Ennallistamisen myötä suojelun luontoarvoja palautuu ja samalla luonnontilaisen suon kaltainen ala lisääntyy, mikä voisi olla osin rahkasammalen keruun hyödynnettävissä.

Lisätutkimukset uuden luonnonvaran hyödyntämisen osalta ovat varmasti tarpeen. Koealoja tarvitaan lisää ja seurantatietoa pitemmältä aikaväliltä ja tutkimusta siitä, mitä tapahtuu sen jälkeen, kun keruualojen kasvillisuuden peittävyys on täysin palautunut. Soiden, kuten luonnon ylipäättään, alueellinen biodiversiteetti on suurta ja näin ollen myös uuden luonnonvaran käyttöönotto vaatii laajaa ymmärrystä kokonaisvaltaisesti. Tämän tutkimuksen tulosten valossa rahkasammalen keruu näyttää ilmastovaikutuksiltaan varsin potentiaaliselta kasvualustamarkkinoille.

KIRJALLISUUS

- Beyer C. & Höper H. 2015. Greenhouse gas exchange of rewetted bog peat extraction sites and a sphagnum cultivation site in northwest Germany. *Biogeosciences*. s. 2101-2117.
- Clymo R.S. 1984. The limits to peat bog growth. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*. s. 605-654.
- Energy Education. 2018. [www-sivusto]. University of Calgary: C vs CO₂. Saatavissa: https://energyeducation.ca/encyclopedia/C_vs_CO2#cite_ref-5. [Viitattu: 18.9.2019]
- Gaudig, G., Krebs M., Prager A., Wichmann S., Barney M., Caporn S.J.M., Emmel M., Fritz C., Graf M., Grobe A., Gutierrez Pacheco S., Hogue-Hugron S., Holzträger S., Irrgang S., Kämäräinen A., Karofeld E., Koch G., Koebbing J.F., Kumar S., Matchutadze I., Oberpaur C., Oestmann J., Raabe P., Rammes D., Rochefort L., Schmilewski G., Sendžikaitė J., Smolders A., St-Hilaire B., van de Riet B., Wright B., Wright N., Zoch L., & Joosten H. 2018. Sphagnum farming from species selection to the production of growing media: A review. *Mires and Peat*. s. 1-30.
- Granberg G., Ottosson-Löfvenius M., Grip H., Sundh I. & Nilsson M. 2001. Effect of climatic variability from 1980 to 1997 on simulated methane emission from a boreal mixed mire in northern Sweden. *Global Biogeochem. Cycle*. 15(4): 977–991
- Grosvernier p., Matthey Y. & Butler A. 1995. Microclimate and physical properties of peat: new clues to the understanding bog restoration process. *Teoksessa Restoration of temperate wetlands*. s. 435-450.
- Gunnarsson U. 2005. Global patterns of Sphagnum productivity. *Journal of Bryology*, 27(3). s. 269-279.
- International Panel on Climate Change (IPCC). 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. Saatavissa: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiFluOOx7TkAhVLcZoKHX4QAwgQFjAAegQIA->

xAC&url=https%3A%2F%2Fwww.ipcc.ch%2Fsite%2Fassets%2Fuploads%2F2018%2F02%2FWG1AR5_Chapter08_FI-NAL.pdf&usg=AOvVaw1YJWsvPqfa1TL037hwPkQs. [Viitattu 23.8.2019].

- International Panel on Climate Change (IPCC). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. National Greenhouse Gas Inventories Programme. Saata-vissa: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>. [Viitattu: 8.8.2019].
- Komulainen, V-M., Nykänen, H. Martikainen, P. J. & Laine, J. 1998. Short-term effect of restoration on vegetation change and methane emissions from peatlands drained for forestry in southern Finland. *Canadian journal of forestry research* 28. s. 402–411.
- Laine J., Vasander H., Hotanen J-H., Nousiainen H., Saarinen M. & Penttilä T. 2018. Suotyypit ja turvekankaat – kasvupaikkaopas. Metsäkustannus. 160 s.
- Leppälä, M., Oksanen, J. and Tuittila, E-S. 2011. Methane flux dynamics during mire succession. *Oecologia* (2011) 165:489–499. DOI 10.1007/s00442-010-1754-6
- Mahmood M. S. & Strack M. 2011. Methane dynamics of recolonized cutover minerotrophic peatland: Implications for restoration. *Ecological Engineering* 37. s. 1859-1868.
- Minkkinen K., Ojanen P., Penttilä T., Aurela M., Laurila T., Tuovinen J-P., & Lohila A. 2018. Persistent carbon sink at a boreal drained bog forest. *Biogeosciences*. s. 3603-3624.
- Minkkinen K. & Ojanen P. 2013. Pohjois-Pohjanmaan turvemaiden kasvihuonekaasutaseet. *Metlan työraportteja* 258. s. 75-111.
- Minkkinen, K., Byrne, K. A. & Trettin, C. 2008. Climate impacts of peatland forestry. *Peatland and Climate Change*. International Peat Society 98-122.
- Minkkinen, K., Penttilä, T. & Laine, J. 2007. Tree stand volume as a scalar for methane fluxes in forestry-drained peatlands in Finland. *Boreal Environment Research* 12: 127–132.
- Minkkinen K. & Laine J. 1998. Long-term effect of forest drainage on the peat carbon stores of pine mires in Finland. *Canadian Journal of Forest Research*. s. 1267-1275.
- Mäkinen H., Hynynen J., Siitonen J. & Sievänen R. 2006. Predicting the decomposition of Scots pine, Norway spruce and birch stems in Finland. *Ecological Applications* 16(5). s. 1865-1879.

- Nilsson M., Mikkilä C., Sundh I., Granberg G., Svensson B.H. & Ranneby B. 2001. Methane emission from Swedish mires: National and regional budgets and dependence on mire vegetation. *J. Geophys. Res.* 106(D18): 20847–20860.
- Nykanen H., Alm J., Silvola J., Tolonen K. & Martikainen P. 1998. Methane fluxes on boreal peatlands of different fertility and the effect of long-term experimental lowering of the water table on flux rates. *Global biogeochemical cycles*, vol. 12, no. 1. s. 53-69.
- Näkkilä J., Silvan N., Jokinen K., Särkkä L. & Tahvonen R. 2015. Rahkasammalen tuotanto ja käyttö kasvihuonekasvien kasvualustana. Loppuraportti. 16 s.
- Ojanen P., Minkkinen K. & Penttilä T. 2013. The current greenhouse gas impact of forestry-drained boreal peatlands. *Forest Ecology and Management*. s. 201-208.
- Ojanen P., Minkkinen K., Alm J. & Penttilä T. 2010. Soil-atmosphere CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in boreal forestry-drained peatlands. *Forest Ecology and Management*. s. 411-421.
- Pakarinen P. & Tolonen K. 1977. Pintaturpeen kasvunopeudesta ja ajoittamisesta. *Suo* 28. s. 19-24.
- Pohjala, M. 2014. Mikä on energia- ja kasvuturpeen elinkaaren ilmastovaikutus? Pro gradu -tutkielma. 70 s.
- Puuinfo. [www-sivusto] Puulajit. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puulajit>. [Viitattu: 30.10.2019]
- Päivänen J. 2007. Suot ja suometsät: järkevän käytön perusteet. *Metsäkustannus*. 368 s.
- Pääministeri Rinteen hallitusohjelma 2019. 2019. [www-sivusto]. Valtioneuvosto. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/rinteen-hallitus/hallitusohjelma>. [Viitattu: 15.11.2019]
- Rahkasammalen keruualueet vuoden 2018 loppuun mennessä. 2019. [Verkkodokumentti]. Kasvualustaryhmä. Saatavissa: <https://www.kasvualusta.org/l/rahkasammalen-keruualueet-vuoden-2018-loppuun-mennessa/>. [Viitattu 14.5.2019]
- Salo, H. 2019. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Silvan N. 2019. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Silvan N., Jokinen K., Näkkilä J. & Tahvonen R. 2017. Swift recovery of sphagnum carpet and carbon sequestration after shallow sphagnum biomass harvesting. *Mires and Peat*. 11 s.
- Suomen FSC-standardi. 2011. Standardikehitystyöryhmä. Saatavissa: <https://fi.fsc.org/download.suomen-fsc-standardi.6.pdf>. [Viitattu 30.10.2019]

- Tuittila E-S. 2000a. Restoring vegetation and carbon dynamics in a cut-away peatland. Helsingin yliopiston kasvitieteen julkaisuja No 30. 30 s.
- Tuittila E-S., Vasander H., & Laine J. 2000b. Impact of Sphagnum re-introduction on the carbon dynamics of a cut-away peatland. Helsingin yliopiston kasvitieteen julkaisuja No 30. 25 s.
- Turunen J., Tomppo E., Tolonen K. & Reinikainen A. 2002. Estimating carbon accumulation rates of undrained mires in Finland—application to boreal and subarctic regions. *The Holocene*. s. 69-80.
- Valtioneuvoston periaatepäättös soiden ja turvemaiden kestävästä ja vastuullisesta käytöstä ja suojelusta. 2012. Maa ja metsätalousministeriö. 19 s.
- Waddington J. M. & Day S. M. 2007. Methane emissions from a peatland following restoration. *Journal of geophysical research*, Vol 112. 11 s.
- Wilson D., Farrell C., Mueller C., Hepp S. & Renou-Wilson F. 2013. Rewetted industrial cutaway peatlands in western Ireland: a prime location for climate change mitigation. *Mires and peat*. Volume 11. 22 s.
- Ympäristönsuojeluasetus (YSA).
- Ympäristönsuojelulaki (YSL).

LIITTEET

Liite 1. Maastolomake 1

Suon perustiedot ja yleisluonnehdinta	
suon nimi:	
keruualueen koko:	
käsittelyajankohta:	
huomiot keruusta:	
suotyyppi ennen keruuta:	
ojat ja niiden kunto:	
kuivatussukcession vaihe:	ojikko/muuttuma/turvekangas
puusto (ikä, tiheys, lajit):	
yleisluonnehdinta ja muut huomiot:	

Liite 2. Maastolomake 2

Kasvillisuusruudut

suon nimi:

ruutu nro:

Peittävyys (yht 100%)	%
- sammalpinta	
- kasviton pinta	
- vesipinta	

Rahkasammalet	
mätäslajit	%
- S. angustifolium	
- S. capillifolium	
- S. fuscum	
- S. rubellum	
- S. russowii	

välipintalajit	%
- S. balticum	
- S. lindbergii	
- S. medium	
- S. papillosum	

painannelajit	%
- S. cuspidatum	

Metsäsammalet:	%
----------------	---

Jäkälät	%
---------	---

Varvut:	%
- Andromeda polifolia	
- Betula nana	
- Calluna vulgaris	
- Chamaedaphne calyculata	
- Empetrum nigrum	
- Rhododendron tomentosum	
- Vaccinium oxycoccus	
- Vaccinium uliginosum	

Ruoholajit:	%
- Rubus chamaemorus	

Saramaiset lajit:	
- C. lasiocarpa	%
- C. limosa	%
- C. magellanica	%
- C. pauciflora	%
- C. rostrata	%
- Eriophorum vaginatum	%
- Rhynchospora alba	%
- Scheuchzeria palustris	%
- Trichophorum cespitosum	%

Kihokki	
---------	--

% = lajin osuus ruudulla

x = lajin esiintyvyys

Turveprofiili

suo:

kairauksen tunniste (näytteiden tunnistamista varten):

cm

Palan tunniste:

kerroksen kuvaus:

5	
10	
15	
20	
30	
40	
50	

1

2

3

4

5

6

7

VERTAILU KERÄTYN ALAN JA VERTAILUALAN KASVILLISUUDEN PEITTÄVYYDESTÄ

	(Sphagnum)									
	MÄTÄS %	VALIPINTA %	KULJU %	METSÄSAMMALET %	JÄKÄLÄT %	VARVUT %	RUOHO %	SARAMAISSET %		
KERUU/SARVINEVA	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,36	0,12	1,36		
VERTAILU/SARVINEVA	19,81	0,61	0,00	12,94	2,73	31,80	3,55	4,20		
KERUU/TUNKIOSALONNEVA	22,44	18,74	5,33	0,19	0,00	5,61	0,82	18,47		
VERTAILU/TUNKIOSALONNEVA	23,60	24,80	0,00	0,00	0,20	2,04	0,04	16,20		
KERUU/NIMETÖNNEVA	0,07	9,69	0,10	1,75	0,00	2,58	0,05	17,57		
VERTAILU/NIMETÖNNEVA	75,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,20	11,80	2,22		
KERUU/HOIKKASUOLENNEVA	0,31	1,56	0,84	0,18	0,00	0,36	0,00	20,10		
VERTAILU/HOIKKASUOLENNEVA	33,00	9,00	0,00	0,00	0,00	29,40	8,00	12,40		
KERUU/KIVISALMENNEVA	0,03	1,14	0,00	0,78	0,00	0,39	0,05	1,44		
VERTAILU/KIVISALMENNEVA	56,60	3,20	0,00	0,00	0,00	27,80	12,60	8,80		
KERUU/NIVUSNEVA	2,04	0,00	0,00	0,71	0,00	9,37	0,01	9,34		
VERTAILU/NIVUSNEVA	18,40	0,00	0,00	0,02	0,00	13,00	16,40	1,02		
KERUU/LIMINGANNEVA	0,50	0,83	0,00	0,21	0,00	0,04	0,01	0,71		
VERTAILU/LIMINGANNEVA	35,40	13,42	0,00	0,20	0,80	24,60	5,42	16,60		
KERUU/KEISARINNEVA	14,13	38,96	0,00	0,00	0,00	6,63	0,05	21,13		
VERTAILU/KEISARINNEVA	43,40	6,80	0,00	0,00	0,00	23,40	10,40	12,40		
KERUU/HAKONEVA	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	1,21	1,81	2,75		
VERTAILU/HAKONEVA	16,60	0,00	0,00	0,00	0,40	64,20	7,20	2,00		
KERUU/PEURAINNEVA 2	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	1,54		
VERTAILU/PEURAINNEVA 2	34,80	0,00	0,00	0,00	0,80	41,80	2,40	4,00		
KERUU/PEURAINNEVA 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	0,01	1,15		
KERUU/PEURAINNEVA 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,30		
VERTAILU/PEURAINNEVA 1&3	15,40	1,00	0,00	0,60	0,60	27,60	16,80	6,60		

Liite 5. Kasvillisuuden peittävyys

	kasvien peittämä	kasviton pinta	vesipinta
TULOS/SARVINEVA	1,81	98,19	0,00
TULOS/TUNKIOSALONNEVA	95,07	0,00	4,93
TULOS/NIMETÖNNEVA	33,50	66,50	0,00
TULOS/HOIKKASUOLENNEVA	23,97	64,38	11,66
TULOS/KIVISALMENNEVA	3,77	96,23	0,00
TULOS/NIVUSNEVA	22,43	77,57	0,00
TULOS/LIMINGANNEVA	2,30	94,00	3,70
TULOS/KEISARINNEVA	100,00	0,00	0,00
TULOS/HAKONEVA	5,77	94,23	0,00
TULOS/PEURAINNEVA 2	1,53	98,47	0,00
TULOS/PEURAINNEVA 1	1,47	98,53	0,00
TULOS/PEURAINNEVA 3	0,30	99,70	0,00